



UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE INGENIERIA AGRONOMICA

**IMPACTO DE LAS PRÁCTICAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES
SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS SUELOS
ANDINOS DEL SUR DEL ECUADOR**

Autora: Irene Lucila Cárdenas Moreno.

Director: Ing. Rolando Céleri Alvear, PhD.

TESIS PREVIA A LA OBTENCION
DEL TITULO DE MAGISTER EN
AGROECOLOGIA Y AMBIENTE.

2014.



RESUMEN

Los ecosistemas de bosque y páramo Andinos proveen diversos servicios socio-económicos y ambientales, sin embargo en las últimas décadas éstas áreas han sufrido una presión enorme debido principalmente al cambio global. Donde las prácticas agropecuarias y forestales han degradado éstos ecosistemas. A pesar de esto, los impactos causados no han sido adecuadamente estudiados. Por lo cual, esta investigación tiene como principal objetivo el identificar el impacto de las prácticas agropecuarias y forestales sobre las propiedades físico químicas de los suelos. Para ello se recolectó información de 4 observatorios, 2 en páramo (Zhurucay y Soldados) y 2 en bosque (Mazar y Aguarongo). Los sitios fueron monitoreados de manera intensiva, donde las propiedades tanto físicas como químicas de los suelos bajo los principales usos de la tierra fueron caracterizadas. Se realizó una comparación entre sitios sin alteración (naturales) y alterados debido a prácticas antropogénicas en cada observatorio, las prácticas analizadas fueron quemas, pastoreo extensivo en pajonal, siembra de pastos, siembra de pinos en ecosistemas de páramo; mientras en bosques se analizaron la siembra de pastos y cultivos. Los resultados revelaron, para el caso de los bosques, que los cultivos causan mayor impacto en comparación a la siembra de pastos. Para el caso de los suelos de páramo, se encontró que la práctica que causa mayor impacto es la de forestación con pino. El BpB tiene mayor impacto sobre las propiedades hidrofísicas; mientras el BpM tiene mayor influencia sobre las propiedades químicas. Siendo el Ppa la práctica de menor impacto en los suelos.



ABSTRACT

The Andean forest and paramo ecosystems provide several socio-economic and environmental services, however in recent decades these areas have been suffered enormous pressure mainly due to global change. Where agricultural, livestock and forestry practices are degrading these ecosystems. Despite their importance, the impacts have not been adequately studied. Therefore, this research has as main objective to identify the impact of agricultural, livestock and forestry practices on the physical and chemical properties of the main soils types of both ecosystems. For this, information was collected from 4 observatories, 2 in páramo (Zhurucay and Soldados) and 2 in montane forest (Mazar and Aguarongo). The sites were monitored intensively, where both physical and chemical properties of soils under major land uses were characterized. To assess the impacts a comparison between non-altered sites (natural) and altered due to anthropogenic practices on each observatory was perform. The practices analyzed in paramo ecosystems were tussockgrass burning, extensive grazing in tussockgrass, pasture cultivation, planting pines; while in forest were analyzed pasture cultivation and crop lands. The results show, for the case of forest, that crops cause greater impact compared to the planting of grasses. In the case of paramo soils, it was found that the practice causes the most impact is the forestation with pine. The BpB has greater impact on hydrophysical properties, while the BpM has greater influence on the chemical. Ppa was apparently the practice with smaller impact on soil properties.



INDICE

1	Introducción.....	10
2	Justificación	12
3	Objetivos	15
3.1	Objetivo general.....	15
3.2	Objetivos específicos.....	15
4	Materiales y métodos.....	15
4.1	Descripción de las áreas de estudio	15
4.1.1	Observatorio Zhurucay.....	17
4.1.2	Observatorio Soldados.....	18
4.1.3	Observatorio Aguarongo	18
4.1.4	Observatorio Mazar.....	20
4.2	Recolección de información de campo.....	20
4.3	Métodos de laboratorio	24
4.3.1	Análisis físicos:.....	24
4.3.2	Análisis químico.....	27
4.4	Análisis estadístico.....	29
5	Resultados y Discusión.....	31
5.1	Caracterización por propiedades físicas y químicas en condiciones naturales.....	31
5.1.1	Páramo Zhurucay y Soldados	31
5.1.2	Bosque Aguarongo y Mazar	38
5.2	Efectos del cambio de uso del suelo sobre las propiedades físicas de los suelos de páramo	43
5.2.1	Efecto de la forestación sobre las propiedades físicas de los suelos bajo pajonal.....	43
5.2.2	Efecto de la quema sobre las propiedades físicas de los suelos bajo pajonal.....	50
5.2.3	Efecto del pasto cultivado sobre las propiedades físicas de los suelos bajo pajonal	53
5.2.4	Efectos del pastoreo extensivo sobre las propiedades físicas de los suelos bajo pajonal	56
5.2.5	Efectos de las prácticas agrícolas sobre las propiedades físicas de los suelos bajo bosque.....	59
5.2.6	Efectos del pastoreo extensivo sobre las propiedades físicas de los suelos bajo bosque.....	60
5.3	Efectos del cambio de uso del suelo sobre las propiedades químicas	64
5.3.1	Efecto de la forestación sobre las propiedades químicas de los suelos bajo pajonal	64
5.3.2	Efecto de la quema sobre las propiedades químicas de los suelos bajo pajonal.....	74
5.3.3	Efecto del pasto cultivado sobre las propiedades químicas de los suelos bajo pajonal	77
5.3.4	Efectos del pastoreo extensivo sobre las propiedades químicas de los suelos bajo pajonal.....	79



5.3.5	Efecto de las prácticas agrícolas sobre las propiedades químicas de los suelos bajo bosque.....	83
5.3.6	Efectos del pastoreo extensivo sobre las propiedades químicas de los suelos bajo bosque.....	84
6	Conclusiones.	89
7	Recomendaciones.....	92
8	Bibliografía	95



UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Yo, Irene Lucila Cárdenas Moreno, autora de la tesis "Impacto de las prácticas agropecuarias y forestales sobre las propiedades físico-químicas de los suelos andinos del Sur del Ecuador", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 27 de Marzo del 2014.

Irene Cárdenas Moreno.
0103092201

Irene Cárdenas Moreno

6



UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Yo, Irene Lucila Cárdenas Moreno, autora de la tesis "Impacto de las prácticas agropecuarias y forestales sobre las propiedades físico-químicas de los suelos andinos del Sur del Ecuador", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Magister en Agroecología y Ambiente. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 27 de Marzo del 2014.

Irene Cárdenas Moreno
0103092201

Irene Cárdenas Moreno

7



Agradecimientos

Esta investigación fue posible gracias al financiamiento de la SENESCYT (Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación) Proyecto PIC-11-715, CELEC EP-HIDROPAUTE y la DIUC (Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca), un agradecimiento especial al Grupo CTA (Grupo de Ciencias de la Tierra y del Ambiente) por haber permitido la realización del presente trabajo. A los colegas que trabajaron tanto en el proyecto Senacyt PIC-08-460 y Senacyt PIC-11-715 por el apoyo brindado durante el levantamiento de información de campo; Ing. M.Sc Pablo Borja; Ing. Gustavo Tenorio; Ing. M.Sc Pablo Quichimbo; un especial agradecimiento a los Ingenieros Esteban Landi y Marcela Gavilanes; por su amistad y apoyo durante el levantamiento de información y realización del presente trabajo.

También agradezco la valiosa colaboración del Proyecto Quimsacocha, Fundación Rikcharina y Fundación Cordillera Tropical por el apoyo logístico brindado durante la recolección de la información de campo, un agradecimiento para los propietarios de los predios de Soldados por las facilidades brindadas para el acceso a las cuencas de estudio. A la Facultad de CCAA (Ciencias Agropecuarias) de la Universidad de Cuenca por la apertura brindada para llevar a cabo las pruebas de laboratorio.



Dedicatoria

Este trabajo lo dedico con mucho cariño a mi esposo Patricio y a nuestro angelit@ que pronto formara parte de nuestras vidas, ya que han sido mi inspiración e incentivo para la culminación de mis estudios. A mis queridos padres Rosa y Alejandro por todo el constante e incondicional apoyo que me han brindado.



Impacto de las prácticas agropecuarias y forestales sobre las propiedades físico químicas de los suelos andinos del sur del Ecuador

1 Introducción

Los bosques y los páramos húmedos son los ecosistemas Andinos más importantes desde el punto de vista socio-económico y ambiental. Los mismos proveen diversos servicios ambientales a la sociedad como son la regulación y provisión de agua de buena calidad, mantenimiento de la biodiversidad, captura y almacenamiento de carbono, entre muchos otros.

El páramo es un paisaje de los Andes del Norte, distribuido entre el oeste de Venezuela, centro y sur de Colombia, de norte a sur en Ecuador hasta el norte de Perú. Según los últimos cálculos realizados por (Josse et al., 2007) citado en el Atlas de los Andes del Norte y Centro (Comunidad Andina, 2009), la superficie de páramos existente en los Andes del Norte supera los 35.000 Km², esto representa el 2,2% del área total de los Andes del Centro y Norte, en Ecuador la extensión de los páramos alcanza aproximadamente 1.835.834 hectáreas (Llambí et al., 2012). Los ecosistemas de páramo se extienden entre la línea superior del bosque (3.500 m de altitud) y la línea de las nieves perpetuas (aproximadamente 5.000 m) según lo expresado por (W. Buytaert et al., 2006).

Por otra parte, los bosques que se registran en Sudamérica se los encuentra desde Venezuela hasta Bolivia en donde el área total, que cubre el ecosistema de bosque montano en los Andes del Norte y Centro de tipo pluvial, es de 210.859 Km², de los cuales el Ecuador posee un 11.7% (Cuesta, Peralvo, & Valarezo, 2009a). La mayoría de los bosques montanos en el Ecuador se encuentran localizados en la Cordillera Oriental donde comúnmente se distribuyen entre los 2100 y 3500 m s.n.m



(Salgado, Betancourt, & Cuesta, 2007a), con una temperatura mensual que varía entre los 8 y 20 °C y una precipitación entre 2500 y 3500 mm al año (Jokisch & Lair, 2002). Generalmente este tipo de ecosistemas se encuentran sobre terrenos rocosos con pendientes fuertes de 65.7% o más, haciéndolos vulnerables a una erosión acelerada en condiciones de lluvia intensa (Bussmann, 2005).

Los páramos son ecosistemas de gran riqueza ecológica (Díaz-Granados, Navarrete, & Suárez, 2005), siendo importantes por tener un valor científico y ecológico por su flora endémica y su paisaje único, y sin duda una de las funciones más importantes es la regulación hidrológica regional, constituyéndose en una de las fuentes más importantes de agua para múltiples propósitos (Robert Hofstede, 1997) para la población humana en los valles interandinos (Monasterio, 1980). Sin embargo dicha función no sería posible sin circunstancias climáticas especiales, suelos volcánicos poco profundos y porosos con alto contenido de materia orgánica, y con una topografía formada por la acción de los glaciares (De Bièvre, Iñiguez, & Buytaert, 2006).

Dentro de los beneficios ofrecidos por los páramos sin duda el más importante es la provisión de agua para uso doméstico, riego e hidroelectricidad. La mayoría de ciudades como Bogotá, Quito, Cuenca entre otras dependen, en gran medida del ecosistema de páramo y sus características (Robert Hofstede & Mena, 2000). Uno de los servicios indirectos de tipo ambiental que brinda el páramo gracias a sus características ecológicas especiales es el almacenamiento de carbono atmosférico, que ayuda a controlar el calentamiento global (Robert Hofstede & Mena, 2000).

El bosque montano, por su parte, es un ecosistema que durante muchas décadas ha sido amenazado en toda su distribución, siendo vulnerable a



cambios de cobertura y uso de tierra. Es importante conocer que es un ecosistema que cuenta con una gran riqueza biológica, es uno de los ecosistemas con la mayor diversidad de plantas en el mundo (Gentry y Dodson, 1987) y de igual manera es de gran importancia en el balance de CO₂ de la atmósfera. Los bosques generan gran cantidad de beneficios ambientales y servicios que generalmente pasan desapercibidos, por lo que es importante considerar un análisis de éstos como lo es la regulación del ciclo hidrológico que mantiene la calidad y cantidad del agua, la fijación del carbono que a través del CO₂ causando el llamado efecto invernadero con gran importancia en el cambio climático llegando a acumular entre 20 y 40 toneladas de carbono por hectárea (Cuesta et al., 2009a), la biodiversidad que es una fuente valiosa que la población usa para su alimentación, vestuario, actividades culturales y espirituales, y también el turismo que genera beneficios económicos para la población, que contribuye a aumentar el valor de las áreas silvestres, y por tanto su conservación (Urquijo, 2004).

2 Justificación

El paisaje de los Andes está integrado por bosques, páramos, humedales, punas y zonas adyacentes de producción agropecuaria (Cuesta et al., 2009a), que son proveedores de servicios ya sean sociales o ambientales para millones de personas que dependen de estos espacios como se mencionó anteriormente. Esta capacidad de los ecosistemas está relacionada en gran medida al tipo de suelos desarrollados. Es por estos motivos que es esencial conocer los procesos y el estado en el que se encuentran los suelos que son el pilar fundamental de la provisión de los servicios ecosistémicos.

A pesar de estos hechos, y debido principalmente al crecimiento poblacional, la población Andina del Ecuador ha puesto una enorme



presión en éstos ecosistemas vulnerables. La región Andina del Ecuador sufre la mayor tasa de deforestación en América del Sur (-1,7%), debido principalmente a la conversión de bosques en tierras de pastoreo (FAO 2009), mientras las zonas de páramo están siendo cada vez mas intervenidas para convertir estas áreas naturales en productivas desde el punto de vista agropecuario y forestal. En éste sentido, el cambio de uso de las tierras con cobertura natural está motivado por la necesidad de encontrar mayores áreas destinadas a la subsistencia (Davidar et al. 2007, Byron y Arnold 1999), donde la gente seguirá con sus actividades para convertir éstas zonas en usos alternativos, siempre y cuando esto tenga sentido económico para los propietarios (Tschakert et al. 2007).

Si bien es cierto que los países que poseen este tipo de ecosistemas han generado una importante información relacionada con estos ecosistemas, la mayoría de la misma ha estado centrada en la caracterización de la biodiversidad dejando de lado los demás componentes de los mismos. Esto ha llevado a que se desconozcan las características de los suelos en su estado natural que permitan comprender el rol de los mismos en el funcionamiento integral del ecosistema. Especialmente se desconoce lo referente a los impactos ocasionadas por actividades antrópicas como la quema, el pastoreo, la tala, la forestación con especies exóticas y la implementación de cultivos sobre las características físico-químicas de los suelos. De la información generada en estos ecosistemas en cuanto a los efectos del cambio de cobertura y uso de suelo existen en su mayoría estudios de tipo hidrológico y de diversidad, pero en cuanto a suelos existe información muy limitada. Algunos de los trabajos realizados en la región en ecosistemas de páramo fueron hechos por Borja, Iñiguez, Crespo, Cisneros, & Cisneros, 2008; Buytaert, 2004; Chacón et al., 2009; R. G. M. Hofstede, 1995; Podwojewski & Poulenard, 2004. Por otra parte en cuanto a trabajos realizados en ecosistemas de bosque encontramos a



(Bach et al., 2003a; Comerford, 2006; Rhoades, Eckert, & Coleman, 1998; Wilcke, Yasin, Abramowski, Valarezo, & Zech, 2002).

Estudios realizados por Buytaert (2004), Chacón, Gagnon, & Paré (2009) y Hofstede (1995), sugieren que actividades antrópicas como pastoreo, quemas, forestación con pinos y cultivos han causado un fuerte impacto en las propiedades físicas y químicas de los suelos que en muchos casos son irreversibles. Sin embargo, los estudios existentes no han considerado las propiedades físicas y químicas combinadas y han sido analizadas de manera independiente.

En estudios realizados en ecosistemas de bosque montano existe una gran preocupación sobre los impactos causados por la perturbación, cambio climático, cambio de cobertura y uso de tierra como lo exponen algunos autores como Foster, 2001; Rhoades et al., 1998; Waide & Lugo, 1992). Existen también trabajos realizados por (Bruijnzeel, Kappelle, Mulligan, & Scatena, 2010; Bruijnzeel & Proctor, 1995; Bruijnzeel & Veneklaas, 1998; Bruijnzeel, 2004, 2005), quienes hablan sobre la hidrología de los bosques montanos, algunos realizados en nuestra región y otros en lugares del mundo con condiciones similares.

En cuanto a estudios sobre la biodiversidad tanto en flora como en fauna y la preocupación de la rápida desaparición de este ecosistema, en donde el trabajo realizado en el austro Ecuatoriano como el de Salgado et al., 2007, y un trabajo a nivel de los Andes realizado por Cuesta et al., 2009, exponen dichos temas. Finalmente trabajos realizados sobre el estado natural de los suelos de bosque o de los efectos causados por el cambio de cobertura o uso de suelo son muy reducidos, donde se pueden destacar las investigaciones de (Bach et al., 2003a; Comerford, 2006; Wilcke et al., 2002)., donde se puede resaltar la falta de profundización en cuanto a aspectos físico-químicos del suelo.



Por lo expuesto anteriormente, este estudio tiene mucha importancia científica ya que los datos obtenidos servirán para determinar cuáles son los impactos que se dan sobre las características físico-químicas de los suelos al ser alterados por procesos antrópicos y de igual manera conocer las características de los suelos en su estado prístino. Los datos obtenidos servirán para futuras investigaciones que se encuentren relacionadas con el ciclo del agua y también para establecer parámetros para mejores prácticas agropecuarias en estos suelos tanto de bosques como de páramos.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Identificar el impacto de las prácticas agropecuarias y forestales sobre las propiedades físico-químicas y por ende en el funcionamiento de los suelos de páramo y bosque del sur del Ecuador.

3.2 Objetivos específicos

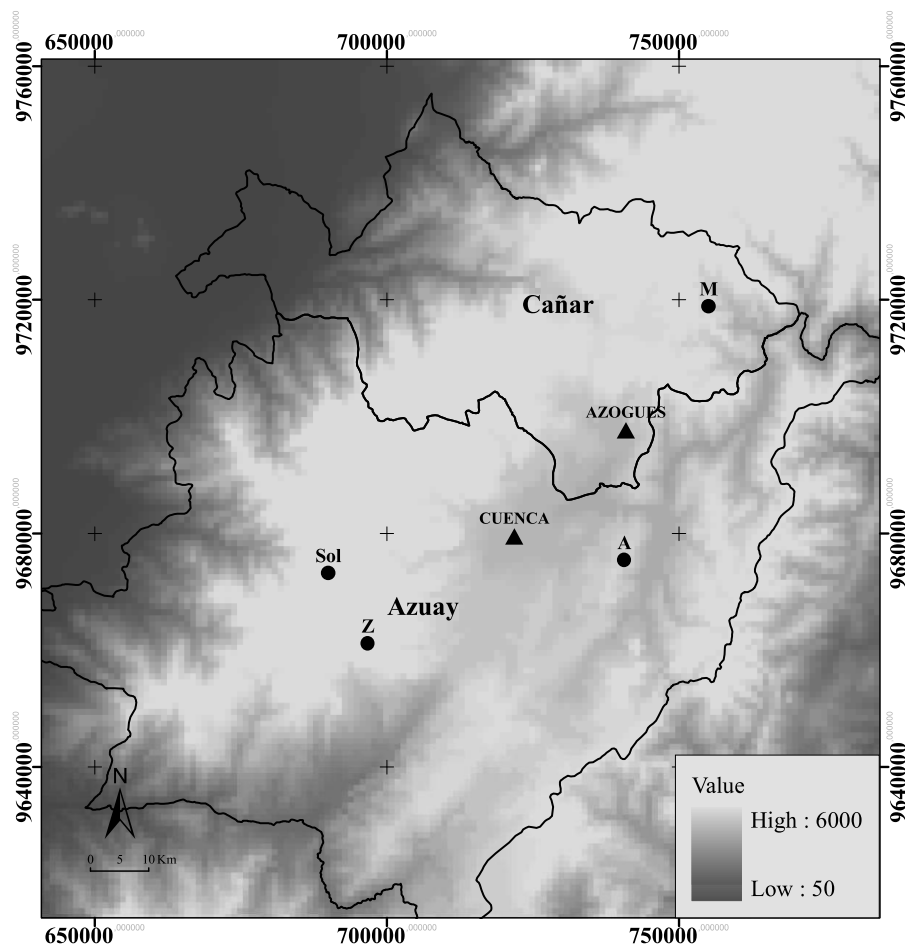
- Conocer las características tanto físicas como químicas de los suelos de áreas sin intervención antropogénica.
- Identificar el efecto de las actividades agropecuarias y forestales sobre las propiedades químicas de los suelos.
- Identificar el efecto de las actividades agropecuarias y forestales sobre las propiedades físicas de los suelos.

4 Materiales y métodos

4.1 Descripción de las áreas de estudio

Considerando que es necesario aportar con información de alta calidad se seleccionaron 4 observatorios para estudiar el impacto de las practicas agropecuarias y forestales sobre las propiedades físico químicas de los suelos de paramo y bosque. Estos observatorios se encuentran ubicados en la cuenca del río Paute y Jubones del Austro ecuatoriano. Los sitios seleccionados se encuentran en zonas o ecosistemas de páramo (Zhurucay y Soldados), y de bosque montano (Aguarongo y Mazar) como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Mapa de los observatorios en estudio. Zhurucay (Z), Soldados (Sol), Aguarongo (A) y Mazar (M)





4.1.1 Observatorio Zhurucay

Se ubica entre los cantones Girón y San Fernando, perteneciente a la cuenca del río Jubones (Figura 1). La microcuenca del río Zhurucay cuenta con un área aproximada de 13.42 km² y los suelos predominantes son Andosoles e Histosoles. La gradiente altitudinal fluctúa entre 3137 y 3910 m s.n.m. con una pendiente promedio en laderas del 21%. La vegetación natural está compuesta principalmente por pajonal (*Calamagrostis intermedia* (J. Presl) Steud; *Poaceae* o *Gramineae*); y plantas propias de los humedales (almohadillas; *Plantago rigida* Kunth; *Plantaginaceae*, musgos, líquenes, etc). A pesar de ser un ecosistema relativamente inalterado, en las últimas décadas, la intervención del ser humano y las actividades agropecuarias se han incrementado. Es así que los impactos humanos más importantes que se han registrado en la zona son: la forestación con especies exóticas, quemas, pastoreo intensivo y extensivo, entre otros.

Las zonas forestadas con especies exóticas como pino (*Pinus pátula* y *pinus radiata*), fueron plantadas por PROFAFOR (Programa Face de Forestación del Ecuador S.A.) con el fin de captura de carbono hace aproximadamente 20 años. La densidad de siembra es de 3 x 3 m, sin tratamiento posterior a la siembra. El desarrollo de los arboles ha dependido en gran medida de su adaptación y la no existencia de quemas, llegando a tener una altura entre los 4 y 10 m. Por otra parte, en la zona denominada “La Comuna” se realizan quemas controladas anuales con el propósito de regenerar el pajonal y mejorar la palatabilidad del mismo para el ganado. El pastoreo extensivo se lo realiza con ganado vacuno con una densidad aproximada de 0.5 cabezas/ha, el mismo que es de propiedad de los comuneros. En la parte baja de la cuenca existe pastoreo intensivo, donde se ha realizado la siembra de pasto (raygrass italiano, *Lolium multiflorum* var. *Italicum*; pasto azul, *Setaria aphacellata*;



kikuyo, *Pennisetum clandestinum*), y donde la densidad animal es de aproximadamente de 2-3 cabezas/ ha.

4.1.2 Observatorio Soldados

El área de estudio de Soldados se encuentra ubicado en la parte alta de la cuenca del río Yanuncay perteneciente a la cuenca del río Paute a 40 km de la ciudad de Cuenca. Los sitios de monitoreo se encuentran ubicados a una altura comprendida entre los 3600 a 3900 m s.n.m. con pendientes que van desde el 15 a 50%. Los suelos predominantes son los Andosoles. A pesar de que el sitio está dentro de la zona de influencia del parque nacional El Cajas, diferentes impactos han puesto presión a la zona, es así que la siembra de especies exóticas como el pino (*pinus patula* y *radiata*) y el pastoreo extensivo son parte de las principales intervenciones humanas.

Las zonas forestadas con especies exóticas como pino (*Pinus pátula* y *radiata*), fueron plantadas por el PROFAFOR y MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador), estos con la finalidad de captura de carbono y producción de madera respectivamente. Los árboles fueron plantados hace aproximadamente 25 años, con una densidad de siembra de 3 x 3 m. El manejo post siembra dado a los árboles consistió en poda y tala selectiva (según información proporcionada por el propietario); sin embargo no se tiene un registro en el que se detalle las edades en las cuales se realizó dicho tratamiento. Los árboles tienen una altura entre 5 y 10 m. En lo referente al pastoreo extensivo, se lo realiza con ganado vacuno con una densidad animal aproximada de 1.5 cabezas/ha.

4.1.3 Observatorio Aguarongo



La zona de estudio se encuentra ubicada dentro del Bosque protector Aguarongo, el mismo que está dentro del área de influencia de la cuenca del río Paute, entre los cantones Gualaceo, Sigsig y Cuenca. Cuenta con un área de 2080 ha, con una gradiente altitudinal de 2900 a 3200 m s.n.m. y pendientes que oscilan entre 5 y 50%. Los principales suelos encontrados fueron Cambisoles; en este bosque se levantó la información correspondiente a sitios inalterados que servirán como testigos en el presente estudio.

Para llevar a cabo el levantamiento de información de los sitios con prácticas agropecuarias se realizó un recorrido de evaluación de las zonas aledañas, en las cuales el bosque ya fue talado. Así, se definió que la zona más apta tanto por accesibilidad y distancia se encontraba dentro de la microcuenca del Turupana, donde existen pequeños remanentes de bosque natural y zonas dedicadas a cultivos y al pastoreo extensivo. En estas comunidades aledañas que se encuentran ubicadas alrededor del bosque protector existe un alto nivel de pobreza, es por ello que los principales usos de suelo se centran en actividades agrícolas como huertos familiares, cultivos asociados de maíz – fréjol, plantas medicinales, extracción de recursos forestales como leña, madera, entre otros, y actividades pecuarias.

La creciente necesidad de la población por encontrar áreas fértiles ha provocando el avance de la frontera agrícola lo cual ocasiona la disminución del área de bosque con el creciente incremento de las zonas de cultivos y pastos (Minga, 2003). En este sentido las áreas donde el bosque ha sido talado son destinadas a cultivos con asociación maíz frejol y rotación con papas; cuando estos suelos disminuyen su fertilidad son abandonados y destinados al pastoreo. Según esta dinámica, para crear nuevas áreas para siembra de cultivos se recurre nuevamente a la tala del bosque así se da continuidad a un ciclo que cada vez avanza más



rápido y de manera invasiva expandiendo la frontera agrícola hacia las partes altas de la cuenca.

4.1.4 Observatorio Mazar

El área de estudio de Mazar se encuentra ubicada en la Provincia del Cañar, pertenece a la cuenca del río Paute, al sur occidente del Parque Nacional Sangay, encontrándose a una altura de 2929 m s.n.m. Se caracteriza por poseer pendientes fuertemente pronunciadas que van desde 30 a 130%, el tipo de suelo predominante son los Cambisoles, con una cobertura vegetal natural correspondiente a Bosque montano. En general, los bosques de la región andina del austro se encuentran bastante fragmentados y aislados debido al acelerado cambio de cobertura del suelo, producto de actividades agrícolas y producción ganadera propia de la zona, originando una transformación de los bosques andinos (Salgado, Betancourt, & Cuesta, 2007b). El ciclo de transformación de bosque a pasto es similar al descrito anteriormente en Aguarongo.

4.2 Recolección de información de campo

El levantamiento de información de campo se considera como parte primordial de este estudio ya que es de gran importancia contar con datos suficientes y de alta calidad con la finalidad de que los mismos sean estadísticamente representativos y lo suficientemente sólidos para así obtener resultados confiables y de excelente calidad.

Para lograr esto se hace importante obtener información de los parámetros tanto físicos como químicos del suelo, para esto también se debe considerar aspectos como la posición en el paisaje (alta, media y baja) debido a la importancia de conocer esta variabilidad de estos



aspectos dentro del estudio. Tanto la recolección de muestras, los análisis en campo y en laboratorio como el procesamiento de datos se describen a continuación.

Dentro de cada observatorio descrito con anterioridad se encuentran ubicados los diferentes sitios de muestreo para los cuales se consideró aspectos como la posición fisiográfica, la posición en el paisaje, pendiente y altura. El muestreo se realizó de manera aleatoria considerando todos los aspectos antes mencionados. De esta manera se levantaron 28 sitios en Zhurucay, 12 sitios en Soldados, 14 sitios en Aguarongo, y finalmente 12 sitios en Mazar. La variación en el número de sitios levantados en cada observatorio se debe a que las campañas de levantamiento de información tuvieron diferentes periodos de duración en los diferentes observatorios, también cabe mencionar que en los observatorios con menor cantidad de sitios levantados debido a cuestiones logísticas como accesibilidad y tiempo requerido para llegar a los sitios de estudio.

Una vez seleccionados cada uno de los lugares de muestreo, se procedió a hacer una descripción del sitio, considerando las coordenadas geográficas, altura, pendiente, tipo de suelo, posición fisiográfica, cobertura vegetal, erosión y posición en el paisaje entre otras. Luego se realizó una descripción de perfil del suelo usando las guías de la (FAO, 2009), la misma que describe el número de horizontes, profundidad de cada horizonte, tipo de suelo, presencia de raíces, presencia de piedras, textura y estructura. Posteriormente fueron extraídas muestras de suelo alteradas las mismas que posteriormente se enviaron al laboratorio para la determinación de los diferentes parámetros químicos y muestras inalteradas que fueron llevadas al laboratorio para la posterior determinación de los puntos de pF 0, pF2.3, pF4.2 y densidad aparente, considerando el número de horizontes existentes. Para la toma de muestras alteradas se considera un área representativa del sitio,

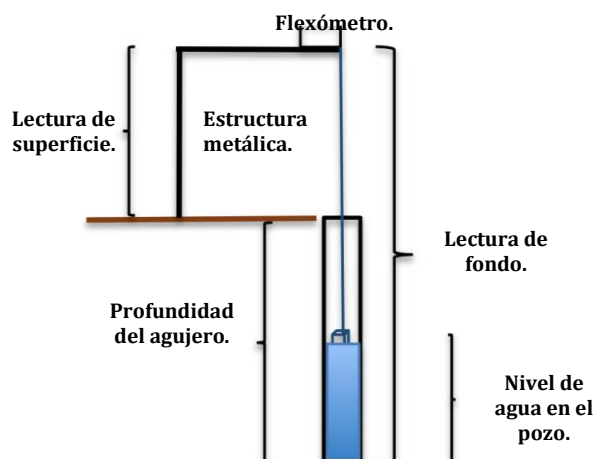
extrayendo un kilogramo de suelo por cada horizonte, y almacenando cada muestra en fundas plásticas previamente etiquetadas, las mismas que fueron enviadas al laboratorio Agrobiolab en la ciudad de Quito para los respectivos análisis químicos. Para la toma de muestras inalteradas se usaron anillos de Kopecky con un volumen de 100 cm^3 , extrayendo dos muestras representativas de cada horizonte para los respectivos análisis de contenidos de humedad de saturación, capacidad de campo, punto de marchitez y densidad aparente.

Para la determinación de la conductividad hidráulica saturada, se utilizó el método de pozo invertido (Oosterbaan & Nijland, 1994), que consiste en:

- Se cava un agujero, la profundidad del mismo depende del espesor del horizonte donde se llevara a cabo la prueba esto con la ayuda de un barreno y después se limpian las paredes del hoyo con un cepillo edafológico diseñado propiamente para este fin y para evitar que los poros del suelo queden sellados por la acción del barreno.
- Luego se coloca una estructura metálica que cuenta con un flexómetro ubicado en la parte superior y un flotador en su extremo inferior (Ver Figura 2) el mismo que al introducirlo en el agujero queda en contacto con la superficie del agua que sirve de regulador y marcador del descenso del agua.
- Se toman las dimensiones del agujero tanto de fondo como de superficie, todas estas con referencia al borde de la estructura, se registra el radio del agujero.
- Se coloca agua en el agujero hasta alcanzar el equilibrio con el agua subterránea es decir hasta que el medio este saturado.

- Una vez logrado el equilibrio, con la ayuda del flexómetro y un cronómetro observamos la velocidad y el tiempo con la que el agua desciende. Se fija un intervalo de tiempo constante entre cada medición; este lapso de tiempo depende de la velocidad con que el agua se infiltra en el suelo pudiendo ser de 3, 4 o 5 minutos entre lectura y lectura. La toma de datos consiste en registrar los valores marcados en el flexómetro entre cada intervalo de tiempo determinado.
- Las mediciones se registran hasta que la diferencia entre lectura y lectura sea la misma entre una medición y otra, es decir hasta que el pozo se estabilice, con un mínimo de tres lecturas con iguales intervalos de descenso.
- Una vez recolectada esta información, se calcula la conductividad hidráulica saturada mediante la fórmula $K_{sat}=1.15*r*s$.

Figura 2. Ilustración del método de pozo invertido.



Donde:

K_{sat} : Conductividad hidráulica saturada (cm.h^{-1})

r : Radio del agujero (cm)



s: Pendiente de la curva $\log (h_t + r / 2)$ vs. T

h: Altura de la columna de agua dentro del pozo (cm)

Este valor de K_{sat} corresponde al valor de la conductividad hidráulica saturada horizontal del suelo.

- Con la finalidad de obtener mayor confiabilidad en los resultados se realizan tres repeticiones por cada horizonte.

4.3 Métodos de laboratorio

4.3.1 Análisis físicos:

Determinación de los contenidos de humedad del suelo

La determinación de los contenidos de humedad del suelo o curva de retención de agua permite conocer el contenido volumétrico de agua en el suelo para un determinado potencial matricial. La determinación de los diferentes puntos de pF se llevaron a cabo en el laboratorio de hidrofísica de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca, con equipos pertenecientes al Grupo de Ciencias de la Tierra y del Ambiente. Para esto se utilizó la caja de arena, ollas extractoras de presión de 5 y 15 bares y una estufa.

Punto de Saturación (PS)

Corresponde al contenido de agua del suelo en condiciones de saturación o pF 0, siendo este valor similar a la porosidad total. A partir de este valor es posible calcular la capacidad de campo y punto de marchitez permanente.

Para su determinación se utilizó el método de la caja de arena, que consiste en usar las muestras inalteradas tomadas en campo (anillos de kopecky), en los cuales se coloca una lamina de tela en la parte inferior



del anillo con la finalidad de mantener un mejor contacto con la superficie de la arena y mantener una buena succión entre la muestra y la arena. Este procedimiento se lo realiza antes de llevar las muestras a la caja de arena. Dependiendo del tipo de suelo el tiempo de saturación de las muestras en la caja de arena puede variar entre 2 semanas a 1 mes, con mayor tiempo de saturación para suelos arcillosos y menor para suelos arenosos. Una vez saturadas las muestras se encuentran listas para ser pesadas en una balanza electrónica, y se registran los datos.

Punto de pF 2.3

En lo que se refiere al punto de pF 2.3 utilizamos los anillos de kopecky antes usados para la determinación del punto de saturación, es decir, las mismas muestras; una vez pesados los anillos y la tela, ubicamos los mismos en las placas de cerámica de 3 bares, previamente se coloca en la superficie del plato de cerámica una fina película de pasta hecha de preferencia a partir de limo, con la finalidad de mejorar el contacto entre la placa de cerámica y el anillo de kopecky. Una vez ubicadas las muestras en las placas de cerámica procedemos a colocar en el extractor de presión de 5 bares y aplicamos la presión de 0,20 de bar. Trascurridos 7 días, se retiran las muestras y se registra el peso de las muestras.

Punto de Marchitez Permanente (PMP)

El punto de marchitez permanente o pF 4.2 es también conocido como el límite inferior de la humedad aprovechable por las plantas.

Para la determinación en laboratorio del punto de marchitez permanente se debe tener en consideración que la muestra a ser procesada, no debe contener raíces, piedras o materiales gruesos. Para evitar este

inconveniente y eliminar las partículas gruesas y raíces se tamiza la muestra en un tamiz de 2mm.

- Después de tamizada la muestra se procede a colocar la misma en la batidora de suelos, se adiciona agua poco a poco mientras la muestra se mezcla y se eliminan los grumos. Cuando la pasta saturada posee una consistencia cremosa y exponiéndola a la luz presenta un brillo intenso y característico, se conoce que esta lista. Entonces se le deja reposar a la sombra y en vasos de metal para evitar la evaporación durante 24 horas. Trascurrido este tiempo, se procede a batir nuevamente la pasta saturada por un lapso de aproximadamente cinco minutos y luego la colocamos en los anillos de goma los cuales se disponen sobre las placas de cerámica. Se debe tomar en cuenta la importancia de colocar de manera correcta la pasta saturada; es decir, se debe tomar en cuenta llenar los bordes y evitar que queden espacios de aire. Seguidamente colocamos las placas en el extractor y se aplica una presión de 15 bares, durante 7 días.
- Una vez transcurridos los siete días se procede a pesar las muestras y se colocan en la estufa durante 24 horas. Y así se obtiene el contenido de humedad del punto de pF 4.2 equivalente a marchitez permanente.

Densidad aparente

La densidad aparente se determina luego de secar las muestras inalteradas (anillos de Kopecky) en la estufa durante 24 horas a 105 °C, se calcula mediante la fórmula:

$$DA = \frac{m_{s+a} - m_a}{V}$$



Donde:

DA : Densidad aparente del suelo.

m_{s+a} : masa del suelo seco más el anillo

m_a : masa de anillo

V : volumen de anillo de Kopecky.

4.3.2 Análisis químico

Para la determinación de los parámetros químicos, se envió un kilo de muestra alterada recogida en campo al laboratorio Agrobiolab en Quito.

En la sección siguiente se enumeran los parámetros determinados y sus respectivos métodos estandarizados:

- El pH fue determinado en una relación suelo – agua de 1:2.5, mediante potenciometría.
- Los contenidos de materia orgánica (MO), fueron determinados mediante el método de incineración.
- El nitrógeno amoniacal (NH_4) fue determinado mediante el método de extracción con bicarbonato de sodio, fenol básico y cloretol, mientras que para el nitrógeno en su forma de nitrito (NO_3) se determinó por el método de ácido sulfúrico.
- El contenido de Fósforo (P) fue determinado por el método de Bray y Krurtz P-1 extrayendo con solución de fluoruro de amonio – ácido clorhídrico.
- Para los contenidos de Hierro (Fe), Calcio (Ca), Manganeso (Mn), Magnesio (Mg) y la acidez intercambiable (Al+H), se usó el método de Olsen modificado.



- Para el contenido de Potasio (K) se determinó por procedimiento de potasio intercambiable NCR-13.

1.1 Análisis del impacto del cambio de uso del suelo

Para los sitios que se encuentran en el ecosistema de páramo tenemos que en el caso de la microcuenca del río Zhurucay las coberturas en estudio son: Pajonal (P), Bosque de pino bajo (BpB), Bosque de pino medio (BpM), Pajonal con quema (Pq), Pasto (Pa) y Pajonal con pastoreo (Ppa). Mientras que para el caso de la microcuenca de Soldados las coberturas en estudio corresponden a Pajonal (P), Bosque de pino medio (BpM), y Pajonal con pastoreo (Ppa).

Al analizar las coberturas con bosques de pinos encontrados en el estudio, se determinó que estos sitios presentan diferentes características, considerando la edad y tamaño de los árboles. En este sentido luego del análisis de la información disponible se identificó que la edad de los árboles no concuerda con el tamaño de los mismos esto podría deberse a problemas de adaptación, es así que se procedió a dividir en dos clases de grupos el primero correspondiente a árboles de < 6 m de altura los cuales se consideraron como Bosque de pino Bajo (BpB), mientras que para el grupo de 6 hasta 10 m como Bosque de pino Medio (BpM) según lo indica la guía para clasificación de árboles de (Ochoa de la Torre, 1999). Para llevar a cabo los análisis para determinar el efecto del cambio de uso del suelo sobre las propiedades físico químicas de suelos de páramo se tomó en consideración solo los horizontes superficiales del suelo debido a que la mayor influencia se da sobre los mismos según lo encontrado por (Gavilanes & Landi, 2012) en

un estudio de tesis realizado para determinar los efectos del cambio de uso de la tierra sobre las propiedades físicas y químicas en la microcuenca del río Zhurucay. Además cabe recalcar que el tipo de suelo y el uso del mismo poseen características similares entre los sitios de cada observatorio, de igual manera según lo expresado por (Quichimbo et al., 2012) en su estudio realizado en la misma zona.

En cuanto a los observatorios ubicados en ecosistemas de bosque tenemos que en el caso de Aguarongo las coberturas en estudio son: Bosque montano (Bm), Cultivos (C) y Pasto (Pa) y para el caso de Mazar las coberturas levantadas corresponden a Bosque montano (Bm) y Pasto (Pa), tanto los sitios ubicados en paramo como bosque se tomo en consideración únicamente los horizontes superficiales y las características como tipo de suelo y uso del mismo fueron similares para los sitios levantados en cada observatorio.

4.4 Análisis estadístico

Con la finalidad de determinar el impacto de las practicas tanto agropecuarias como forestales sobre las propiedades físico químicas de los suelos de páramo y bosque se tomaron en consideración 4 observatorios diferentes, dos ubicados en ecosistemas de paramo (Zhurucay y Soldados) y dos en bosque (Aguarongo y Mazar).

El análisis estadístico se llevó a cabo de manera individual debido a que se identificaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre cada observatorio, esto debido a la escala de intervención en cada una de las zonas de estudio y a sus respectivas características. Por esta razón se decidió no unificar las bases de datos. Dentro de cada uno de los observatorios se identificaron los usos de la tierra que corresponden al detalle que se mencionó en la sección anterior.



En lo que se refiere a los parámetros seleccionados para los análisis estadísticos, se tomaron en cuenta las variables físicas como son arena, limo, arcilla, K_{sat} , DA, pF 0, pF 2.3, pF 4.2. En cuanto a los parámetros químicos se tomaron en consideración el pH, MO, SB, NT, NH_4 , NO_3 , P, Fe, Mn, K, Ca, Mg, Al+H y CICE.

Una vez seleccionadas las variables se realizó la identificación de valores atípicos. Este procedimiento fue realizado usando las hojas de cálculo correspondientes a las bases de datos previamente clasificadas por cada cobertura de los diferentes observatorios. Se compararon los valores de cada variable respecto a ± 3 veces la desviación estándar. En el caso que un valor estuviera fuera del rango mencionado fue identificado como *outlier* o valor atípico. En este caso los valores fueron reemplazados con un valor equivalente a dos veces la desviación estándar, esto tomando en consideración y con la precaución de no alterar la variabilidad total de la base de datos.

Debido a que las bases de datos no presentaban normalidad dentro de los datos se procedió a usar una prueba no-paramétrica correspondiente a la prueba de Mann Whitney (Mann & Whitney, 1947). Esta prueba fue aplicada con la finalidad de identificar diferencias entre las propiedades tanto físicas como químicas de los suelos bajo diferentes coberturas prístinas y antropizadas pertenecientes a cada observatorio y también para identificar que variables fueron afectadas significativamente debido a la influencia de las prácticas tanto forestales como agropecuarias sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos de páramo y bosque respectivamente. Como resultado de estos análisis se definieron nuevos rangos de significancia para ecosistemas de páramo y bosque esto debido a que el valor de $p < 0.05$ no reflejaba todas las alteraciones. Es decir, se pudo observar que se subestimaban cambios importantes que no llegan a ser estadísticamente significativos pero son de importancia,

debido a que los cambios en estos ecosistemas frágiles pueden tener consecuencias a pesar de ser pequeños es por esto que se adoptó un nuevo rango de significancia, el mismo que se puede observar en las Tablas 5 y 6.

Además se llevaron a cabo diagramas de caja (Box plots) para observar de manera gráfica las diferencias identificadas en el análisis anterior, es decir con la finalidad de observar con mayor facilidad si estos cambios se debían a un incremento o a un descenso en los valores de cada variable afectada.

5 Resultados y Discusión.

5.1 Caracterización por propiedades físicas y químicas en condiciones naturales

Una parte esencial de los paisajes andinos de montaña son los Pajonales, Sub Páramos y Bosques Andinos, los cuales son importantes en la provisión de servicios ecosistémicos, vinculados primordialmente con el agua, regulación climática regional, captura y almacenamiento de carbono (Cuesta, Peralvo, & Valarezo, 2009b). A continuación se realizará una caracterización física y química de los suelos que se encuentran en los ecosistemas nombrados anteriormente en los distintos observatorios como son Zhurucay, Soldados, Aguarongo y Mazar.

5.1.1 Páramo Zhurucay y Soldados

Se pueden observar las características y propiedades de los suelos del Páramo del observatorio Zhurucay en la Tabla 1 y Tabla 3 en donde el tipo de suelo predominante es del orden de los Andosoles; los mismos que tienen una profundidad del horizonte Ah que va de 34 a 60 cm, de



color negro (10YR 1.7/1) característico de los Andosoles según lo expresado por algunos autores como (Buytaert, 2004a; Masami Nanzyo, 2002; Ugolini & Dahlgren, 2002).



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tabla 1. Características morfológicas de los sitios de estudio en los observatorios de Zhurucay, Soldados, Mazar y Aguarongo.

Observatorio	Uso Suelo	N	Hor.	Suelo	Prof. (cm)	Color	Textura	Estructura	Alt. (m)
Z	P	9	Ah	Andosol	34-60	10YR 1.7/1	FAr	Migajosa	3510-3910
	BpB	3	Ah	Andosol	40-43	10YR1.7/1	FAr	Migajosa	3763-3850
	BpM	2	Ah	Andosol	40-60	10YR1.7/1	FAr	Migajosa	3476-3622
	Pq	5	Ah	Andosol	30-50	10YR1.7/1	FAr	Migajosa	3604-3820
	Pa	3	Ap	Andosol	26-60	10YR2/2	FaAr	Migajosa	3453-3661
	Ppa	6	Ah	Andosol	30-60	10YR1.7/1	FAr	Migajosa	3530-3848
Sol	P	4	Ah	Andosol	30-40	7.5YR2/1	FaAr	Migajosa	3600-3900
	BpM	4	Ah	Andosol	15-35	10YR2/1	FaAr	Granular	3664-3755
	Ppa	2	Ah	Andosol	25-35	7.5YR1.7/1	FaAr	Granular	3750-3817
A	Bm	5	A	Cambisol	25-36	7.5YR2/3	FaAr	Migajosa	3040-3100
	C	4	Ah	Cambisol	45-70	7.5YR1.7/1	FAr	Sin estructura	2900-3200
	Pa	5	Ah	Cambisol	35-48	7.5YR2/2	FaAr	Bloques subangulares	3000-3100
M	Bm	6	A	Cambisol	25-40	10YR3/2	F	Granular	2800-3100
	Pa	6	A	Cambisol	30-65	10YR4/4	F	Bloques subangulares	2829-2948

N, Numero de sitios levantados; Hor, Horizonte; Prof, Profundidad; Alt, Altura; Z, Zhurucay; P, Pajonal; BpB, Bosque de pino bajo; BpM, Bosque de pino medio; Pq, Pajonal quemado; Pa, Pasto; Ppa, Pajonal con pastoreo; Sol, Soldados; A, Aguarongo; Bm, Bosque montano; C, Cultivos; M, Mazar; FAr, Franco arenoso; FaAr, Franco arcillo arenoso; F, Franco.

La textura es franco arenosa. En cuanto a los contenidos de arena están entre 42 a 78% y un promedio de 62%, el porcentaje de limo entre 6 a 28 % y un promedio de 16%; en el caso de la arcilla se encuentra entre el 12 a 40% y un promedio de 22%. La K_{sat} presenta valores que van desde 0.39 a 2.71 cm h^{-1} y un promedio de 1.19 cm h^{-1} , la DA que va de 0.312 a 0.658 g cm^{-3} y un promedio de 0.468 g cm^{-3} , para los puntos de retención de agua en pF 0 su contenido va de 0.673 a 0.865 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ y un promedio de 0.777 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, para pF 2.3 su contenido está entre 0.661 a 0.842 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ y un promedio de 0.743 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ y finalmente para el punto pF 4.2 se tienen valores de entre 0.364 a 0.498 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ y un promedio de 0.446 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$.

En la Tabla 2 se presentan las propiedades químicas de los suelos estudiados en Zhurucay, en donde el pH presenta valores que van desde los 4.60 a 4.80 y un promedio de 4.72, la MO que se caracteriza por presentar valores entre 11.02 a 34.26% y un promedio de 25.19%, la SB cuyos valores están entre los 18.16 a 66.24% y un promedio de 36.98%, el NT presenta valores entre 0.52 a 1.61% y un promedio de 1%, el NH_4 con valores entre 97 a 208.70 ppm y un promedio de 133.60 ppm, el NO_3 que va desde 0.10 a 7.50 ppm y un promedio de 3.34 ppm, el P que presenta valores que van desde los 3.60 a 13 ppm y un promedio de 8.24 ppm, el Fe que se caracteriza por poseer valores entre 31.20 a 827.94 y un promedio de 286.76 ppm, el Mn con valores entre 1.60 a 44.38 ppm y un promedio de 10.80 ppm, el K presenta valores entre 0.06 a 0.40 meq 100ml^{-1} y un promedio de 0.22 meq 100ml^{-1} , el Ca cuyos contenidos están entre 0.79 a 2.88 meq 100ml^{-1} y un promedio de 1.43 meq 100ml^{-1} , el Mg presenta valores entre 0.28 a 0.68 meq 100ml^{-1} y un promedio de 0.46 meq 100ml^{-1} , el Al+H se caracteriza por presentar valores que van desde los 2.13 a 10.56 meq 100ml^{-1} y un promedio de 5.84 meq 100ml^{-1} y finalmente la CICE con valores entre 4.18 a 14.23 meq 100ml^{-1} y un promedio de 8.01 meq 100ml^{-1} .



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tabla 2. Propiedades químicas de los sitios de páramo Zhurucay y Soldados.

Observatorio		Zhurucay						Soldados		
Uso suelo		P	BpB	BpM	Pq	Pa	Ppa	P	BpM	Ppa
pH		4.60-4.80 4.72	4.70-5.10 4.90	4.50-4.60 4.55	4.50-5.30 4.96	4.30-4.90 4.57	4.30-4.80 4.62	4.60-5.40 5	4.80-5.30 4.98	5.10-5.20 5.15
MO		11.02-34.26 25.19	13.33-36.19 23.74	38.17-48.04 43.11	26.78-46.20 35.29	13.81-35.68 27.30	22.24-38 28.90	10.86-24.46 14.88	9.29-31.74 18.14	15.94-21.77 18.86
SB	%	18.16-66.24 36.98	14.72-28.06 21.50	10.16-14.36 12.26	13.60-29.88 20.92	11.83-46.93 30.42	19.28-60.21 42.29	25.41-29.47 28.25	15.72-25.40 21.11	19.79-27.88 23.84
NT		0.52-1.61 1.00	0.45-0.80 0.67	1-1.60 1.30	0.89-1.68 1.24	0.57-1.47 1.06	0.58-1.64 1.01	0.40-0.94 0.56	0.38-1.13 0.74	0.83-1.11 0.97
NH ₄	ppm	97-208.70 133.60	12.10-177.20 113.37	106.40-121.60 114	95.70-213.30 150.36	97.90-206.70 146	90.70-133.40 111.26	150-200.30 169.88	115.90-219.80 156.50	177.60-226.30 201.95
NO ₃		0.10-7.50 3.34	4.50-14.80 8.27	0.20-26.80 13.50	2.10-21.40 9.42	1-17.50 8.90	0.10-6.10 2.02	1.30-10.90 3.90	1.30-9.40 5.90	1.30-4.30 2.80
P		3.60-13 8.24	5.70-8 6.70	6-10.50 8.25	1.21-17 9.18	2-18.60 10.80	3.70-10.20 7.60	1.48-19.20 9.20	4-20.50 9.60	18-20.20 19.10
Fe		31.20-827.94 286.76	63.10-1277 498.10	602.50-820 711.25	276.50-1532.50 580.24	631.50-1572.50 1102	48.80-1187.50 414.36	298.40-605 464.58	73.20-283 225.83	119.50-153.10 136.30
Mn		1.60-44.38 10.80	4-170 62.43	1.90-2.10 2	1.60-11.40 3.90	2.40-34.40 15.43	1.20-8.30 3.18	8.50-35.40 17.18	6.40-43.40 18.58	29.60-129 79.30
K		meq 100ml ⁻¹	0.06-0.40 0.22	0.06-0.08 0.07	0.11-0.19 0.15	0.05-0.30 0.15	0.19-0.37 0.25	0.06-0.35 0.18	0.22-0.47 0.33	0.17-0.43 0.25
Ca	0.79-2.88 1.43		0.88-1.47 1.09	0.76-1.09 0.93	1.02-2.26 1.53	1.76-6.19 3.56	0.79-2.02 1.35	3.24-4.50 3.95	1.14-3.24 2.50	3.65-6.20 4.93
Mg	0.28-0.68 0.46		0.26-0.40 0.33	0.31-0.45 0.38	0.31-0.64 0.43	0.66-1.07 0.87	0.28-0.63 0.39	0.55-1.42 1.01	0.32-0.98 0.66	0.77-1 0.89
Al+H	2.13-10.56 5.84		3.41-5.40 4.45	10.50-10.70 10.60	4.60-10.12 6.62	8.45-19.67 12.20	3-7.36 4.55	2.70-5.70 4.03	2.30-6.20 4.68	2.20-4.10 3.15
CICE	4.18-14.23 8.01		4.74-7.36 5.97	11.91-12.26 12.09	6.53-13.34 8.75	12.52-22.41 16.96	4.98-10.39 6.52	7.28-10.15 9.34	5.98-9.74 8.12	9.48-9.50 9.49

pH, potencial hidrogeno; MO, Materia orgánica; SB, Saturación de bases; NT, Nitrógeno total; NH₄, Nitrógeno amoniacal; NO₃, nitratos; P, Fosforo; Fe, Hierro; Mn, Manganeseo; K, Potasio; Ca, Calcio; Mg, Magnesio; Al+H, Aluminio intercambiable; CICE, Capacidad de intercambio catiónico efectiva; P, Pajonal; BpB, Bosque de pino bajo; BpM, Bosque de pino medio; Pq, Pajonal quemado; Pa, Pasto; Ppa, Pajonal con pastoreo.



En cuanto a los suelos bajo Páramo del observatorio Soldados se identificó que el tipo de suelo predominante son los Andosoles, los mismos que tienen un horizonte Ah que se caracteriza por tener un espesor que varía de 30 a 40cm, con un color negro (7.5YR 2/1). La textura es franco arcillo arenosa. En cuanto a los contenidos de arena se caracterizan por presentar valores entre 48 a 62% y un promedio de 52%, en el caso del limo se encontraron valores que van desde 16 al 22 % y un promedio de 20%, y la arcilla que posee valores entre 18 a 34% y un promedio de 28%. Para el caso de la K_{sat} los valores característicos van desde los 0.85 a 2.99 cm h^{-1} y un promedio de 1.99 cm h^{-1} , la DA que se caracteriza por tener valores de 0.446 a 0.882 g cm^{-3} y un promedio de 0.734 g cm^{-3} que son similares a los valores que presentan distintos autores ya que los suelos derivados de cenizas volcánicas poseen densidades menores a 0.9 g cm^{-3} (Borja, Iñiguez, Crespo, Cisneros, & Cisneros, 2008a; Buytaert, 2004a; Masami Nanzyo, 2002). Para los puntos de retención de agua en pF 0 su contenido está entre los 0.637 a 0.820 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ y un promedio de 0.706 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, para pF 2.3 se dan valores desde los 0.504 hasta 0.654 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ y un promedio de 0.548 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ y finalmente para el punto pF 4.2 se identificó valores entre 0.304 a 0.407 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ y un promedio de 0.367 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$.

En la Tabla 2 se muestran las principales propiedades químicas de los suelos en la microcuenca de Soldados, en donde el pH se caracteriza por presentar valores que van desde los 4.60 a 5.40 y un promedio de 5, siendo ácido como es común de los suelos derivados de cenizas volcánicas por sus altos contenidos de Al+H y Fe (M Nanzyo, Shoji, & Dahlgren, 1993; Jerome Poulenard, Podwojewski, & Herbillon, 2003), la MO que se caracteriza por estar en un rango de 10.86 a 24.46% con un promedio de 14.88% siendo un contenido alto para este tipo de suelos lo que resulta en una estructura suelta y abierta, en una alta capacidad de retención de agua y una alta conductividad hidráulica (Buytaert, 2004).



Como se observó anteriormente, la SB presenta valores característicos entre los 25.41 hasta 29.47% y un promedio de 28.25%, el NT con valores de 0.40 a 0.94% y un promedio de 0.56%, el NH_4 que se caracteriza por presentar valores entre 150 a 200.30 ppm y un promedio de 169.88 ppm, el NO_3 que está entre los 1.30 a 10.90 ppm y un promedio de 3.90 ppm, el P que posee valores que van desde los 1.48 hasta los 19.20 ppm y un promedio de 9.20 ppm, el Fe que presenta valores que van desde 298.40 a 605.00 ppm y un promedio de 464.58 ppm, el Mn está presente con un rango entre los 8.50 a 35.40 ppm y un promedio de 17.18 ppm, el K que se encuentra en un rango de 0.22 a 0.47 meq 100ml^{-1} y un promedio de 0.33 meq 100ml^{-1} , el Ca con valores característicos entre 3.24 a 4.50 meq 100ml^{-1} y un promedio de 3.95 meq 100ml^{-1} , el contenido de Mg se caracteriza por estar en un rango que va desde los 0.55 a 1.42 meq 100ml^{-1} y un promedio de 1.01 meq 100ml^{-1} , el Al+H se presenta en un rango que va desde los 2.70 a 5.70 meq 100ml^{-1} y un promedio de 4.03 meq 100ml^{-1} y finalmente la CICE se caracteriza por poseer valores entre 7.28 a 10.15 meq 100ml^{-1} y un promedio de 9.34 meq 100ml^{-1} .

Al revisar las propiedades de los suelos de los observatorios de Zhurucay y Soldados se observó que existe una diferencia en el contenido de arena en los sitios correspondientes a pajonal inalterado de la microcuenca de Soldados con los sitios correspondientes a pajonal inalterado en Zhurucay, lo mismo fue registrado por varios autores como (Borja, Iñiguez, Crespo, Cisneros, & Cisneros, 2008b) en un estudio realizado en una zona cercana al presente estudio. La conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) de los suelos de los observatorios Zhurucay y Soldados se encuentra dentro del rango registrado por (Buytaert, 2004) en suelos similares. La DA en los suelos estudiados presenta características que identifican suelos con características ándicas ya que poseen una densidad inferior a 0.9 g cm^{-3} . Los puntos de retención de agua de los suelos estudiados se encuentran dentro de los rangos presentados en

estudios cercanos a la zona de estudio (Borja et al., 2008; Buytaert, 2004b; Quichimbo et al., 2012, Podwojewski & Poulenard, 2004). Finalmente se observó que las propiedades químicas como pH ácido, el alto contenido de materia orgánica y las altas concentraciones de Al, son similares a las registradas por diferentes autores (Borja et al., 2008b; Wouter Buytaert, 2004a; Nanzyo, Shoji, & Dahlgren, 1993; Podwojewski & Poulenard, 2004b) en estudios realizados en suelos similares al del presente estudio.

5.1.2 Bosque Aguarongo y Mazar

Se pueden observar las características y propiedades de los suelos del Bosque montano del observatorio Aguarongo en la Tabla 1 y Tabla 3 en donde el suelo típico está representado por Cambisoles que poseen una profundidad del horizonte A de 25 a 36 cm, con un color café muy oscuro (7.5YR 2/3). La textura es franco arcillo arenosa. En cuanto a los contenidos de arena se caracterizan por poseer valores entre 50 a 63% y un promedio de 53%, en el caso del contenido de limo está entre 12 a 32 % y un promedio de 26%, la arcilla se caracteriza por poseer valores entre 18 a 24% y un promedio de 20%.

La K_{sat} presenta valores que van desde los 2.01 a 22.31 $cm\ h^{-1}$ y un promedio de 10.00 $cm\ h^{-1}$, la DA presenta valores característicos entre 0.606 a 1.097 $g\ cm^{-3}$ y un promedio de 0.759 $g\ cm^{-3}$, para el punto de retención de agua en pF 0 el contenido volumétrico de agua se encuentra entre 0.680 a 0.727 $cm^3\ cm^{-3}$ y un promedio de 0.710 $cm^3\ cm^{-3}$, para el caso del pF 2.3 su contenido se caracteriza por valores entre 0.601 a 0.641 $cm^3\ cm^{-3}$ y un promedio de 0.621 $cm^3\ cm^{-3}$ y finalmente para el punto pF 4.2 su contenido se encuentra entre 0.318 a 0.512 $cm^3\ cm^{-3}$ y un promedio de 0.384 $cm^3\ cm^{-3}$.

Tabla 3. Propiedades hidrofísicas de los observatorios de Zhurucay, Soldados, Aguarongo y Mazar

Obs.	Uso suelo	Arena	Limo	Arcilla	Ksat	DA	pF 0	pF 2.3	pF 4.2
		($\%$)			cm h^{-1}	g cm^{-3}	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$		
Z	P	42-78	6-28	12-40	0.39-2.71	0.312-0.658	0.673-0.865	0.661-0.842	0.364-0.498
		62	16	22	1.19	0.468	0.777	0.743	0.446
	BpB	52-72	12-18	16-34	1.59-2.79	0.380-0.808	0.648-0.759	0.588-0.723	0.398-0.519
		63	15	22	2.11	0.656	0.716	0.648	0.457
	BpM	70-72	16-22	6-14	2.77-7.44	0.370-0.500	0.766-0.804	0.721-0.744	0.385-0.488
		71	19	10	5.10	0.435	0.785	0.732	0.437
	Pq	66-78	12-22	10-16	1.11-1.67	0.380-0.650	0.713-0.804	0.612-0.732	0.234-0.520
		72	16	12	1.40	0.499	0.756	0.697	0.410
	Pa	40-68	18-26	14-34	1.08-4.08	0.430-0.840	0.647-0.822	0.572-0.775	0.366-0.406
		51	23	26	2.40	0.667	0.736	0.659	0.391
Sol	Ppa	45-74	8-22	12-39	1.01-2.45	0.270-0.680	0.752-0.922	0.730-0.884	0.325-0.528
		60	16	24	1.64	0.404	0.834	0.799	0.406
	P	48-62	16-22	18-34	0.85-2.99	0.446-0.882	0.637-0.820	0.504-0.654	0.304-0.407
		52	20	28	1.99	0.734	0.706	0.548	0.367
	BpB	56-58	20-28	14-24	1.10-9.28	0.518-1.090	0.550-0.780	0.377-0.585	0.329-0.445
		57	24	19	5.19	0.804	0.665	0.481	0.387
	BpM	40-62	20-26	18-36	1.70-16.9	0.659-0.894	0.655-0.734	0.493-0.563	0.328-0.540
		54	23	24	9.21	0.763	0.700	0.532	0.408
	Ppa	60-64	20-22	16-18	4.81-6.67	0.558-0.814	0.676-0.772	0.499-0.552	0.341-0.423
		62	21	17	5.74	0.686	0.724	0.525	0.382
LP	SP	31-50	14-30	28-50	1.06-20.66	0.932-1.176	0.545-0.647	0.457-0.547	0.214-0.387
		42	19	39	7.08	1.039	0.594	0.493	0.318
	BpB	40-42	16-20	40-44	1.47-5.06	0.810-1.129	0.546-0.647	0.416-0.532	0.376-0.437
		41	17	42	2.95	1.012	0.588	0.472	0.400
	BpM	34-50	14-24	32-50	1.29-18.48	0.877-1.382	0.504-0.662	0.407-0.558	0.212-0.393
A	Bm	50-63	12-32	18-24	2.01-22.31	0.606-1.097	0.680-0.727	0.601-0.641	0.318-0.512
		53	26	20	10	0.759	0.710	0.621	0.384
	C	28-78	10-48	12-26	0.64-7.63	0.370-0.878	0.735-0.853	0.551-0.804	0.190-0.541
		55	25	20	2.97	0.577	0.798	0.718	0.321
	Pa	40-62	20-42	18-30	1.27-7.47	0.560-1.093	0.590-0.815	0.553-0.688	0.300-0.365
M	Bm	32-62	22-40	12-46	2.14-11.68	0.601-1.384	0.612-0.798	0.464-0.652	0.297-0.434
		41	33	26	6.51	1.073	0.701	0.540	0.374
	Pa	34-54	24-40	30-20	2.11-4.58	0.694-1.467	0.532-0.699	0.399-0.575	0.225-0.457
		41	34	25	3.36	1.197	0.629	0.496	0.342

Z, Zhurucay; P, Pajonal; BpB, Bosque de pino bajo; BpM, Bosque de pino medio; Pq, Pajonal quemado; Pa, Pasto; Ppa, Pajonal con pastoreo; Sol, Soldados; A, Aguarongo; Bm, Bosque montano; C, Cutivos; Pa, Pasto; M, Mazar; k_{sat} , Conductividad hidráulica saturada; DA, Densidad aparente; pF0, Punto de saturación; pF2.3; pF4.2, Punto de marchitez permanente.

El contenido de Fe que se encuentra entre 100.90 a 658.60 ppm y un promedio de 388.68 ppm, en el caso del contenido de Mn se presentaron valores entre 2.80 a 20.30 ppm y un promedio de 9.98 ppm, el K se encuentra en un rango que va desde 0.09 a 0.13 meq 100ml⁻¹ y un promedio de 0.10 meq 100ml⁻¹, el contenido de Ca se encuentra entre 5.19 a 8.71 meq 100ml⁻¹ y un promedio de 7.02 meq 100ml⁻¹, el Mg presenta valores característicos entre 0.83 a 1.97 meq 100ml⁻¹ y un promedio de 1.60 meq 100ml⁻¹, el Al+H se caracteriza por estar en un rango de 1.70 a 9.60 meq 100ml⁻¹ y un promedio de 4.94 meq 100ml⁻¹.

Tabla 4. Propiedades químicas para los sitios de Bosque Aguarongo y Mazar.

Observatorio Uso suelo	Aguarongo			Mazar	
	Bm	C	Pa	Bm	Pa
pH	4.71-5.40 5.06	4-5.6 4.93	4.80-5.40 5.20	5.10-6 5.57	5.50-6.10 5.82
MO	10.32-21.55 14.76	3.92-30.09 18.51	5.47-27.72 16.07	4.59-10.82 6.61	2.68-13.89 6.41
SB	41.46-84.97 65.32	23.49-92.78 57.25	21.52-87.74 61.91	6.71-57.33 38.85	29.52-56.72 42.39
NT	0.61-1.08 0.82	0.26-1.04 0.68	0.34-1.18 0.73	0.25-0.53 0.37	0.15-0.79 0.38
NH ₄	32.80-111.30 63.66	12.50-157.10 61.55	35.80-133.20 70.50	60.70-112.70 90.20	54.20-143.50 82.35
NO ₃	1-12.70 5.96	6.90-107.30 37.20	1-26.20 7.42	2.10-6.50 4.38	1.30-13 5.35
P	1.60-7.20 3.10	1.60-18 6.60	1.80-8 4.26	0.24-5.20 4.16	0.10-3.10 1.93
Fe	100.90- 658.60 388.68	50.90-967.50 332.78	173.30- 560.20 435.58	103.70- 651.40 263.13	95.20-222.20 158.10
Mn	2.80-20.30 9.98	2.10-14.70 7.50	3.10-33.40 16.16	4.30-66.80 37.37	12.10-70.60 32.12
K	0.09-1-13 0.10	0.08-1.29 0.48	0.06-0.36 0.18	0.08-0.46 0.27	0.24-0.99 0.55
Ca	5.19-8.71 7.02	1-9.63 4.29	5.15-12.81 8.96	1.09-12.66 7.15	5.29-10-62 8.95
Mg	0.83-1.97 1.60	0.32-3.15 1.26	0.66-3.40 1.43	0.79-2.50 1.80	1.29-3.24 2.09
Al+H	1.70-9.60 4.94	0.90-9.25 3.85	1.80-8 3.51	0.50-3 1.23	0.54-1.75 0.81
CICE	10.31-16.40 13.57	5.61-15.24 9.93	10.37-19.40 14.12	2.75-15.86 10.48	9.88-14.21 12.44

pH, potencial hidrogeno; MO, Materia orgánica; SB, Saturación de bases; NT, Nitrógeno total; NH₄, Nitrógeno amoniacal; NO₃, nitratos; P, Fosforo; Fe, Hierro; Mn, Manganeseo; K, Potasio; Ca, Calcio; Mg, Magnesio; Al+H, Aluminio intercambiable; CICE, Capacidad de intercambio catiónico efectiva; Bm, Bosque montano; C, Cultivos; Pa, Pasto.



La CICE se caracteriza por presentar valores entre 10.31 a 16.40 meq 100ml⁻¹ y un promedio de 13.57 meq 100ml⁻¹.

Finalmente encontramos los suelos bajo Bosque montano del observatorio Mazar de los cuales se puede observar sus características y propiedades en las Tablas 1 y 3, en donde el suelo típico está representado por Cambisoles que poseen una profundidad del horizonte A que varía de 25 hasta 40 cm, con un color negro marrón (10YR 3/2). La textura es franca; en cuanto a los contenidos de arena se encuentran entre 32 a 62% y un promedio de 41%, el limo presenta valores entre 22 a 40 % y un promedio de 33%, la arcilla presenta valores entre 12 a 46% y un promedio de 26%, la K_{sat} presenta valores entre 2.14 a 11.68 cm h⁻¹ y un promedio de 6.51 cm h⁻¹, la DA posee valores entre 0.601 a 1.384 g cm⁻³ y un promedio de 1.073 g cm⁻³, para los puntos de retención de agua en pF 0 su contenido está entre 0.612 a 0.798 cm³ cm⁻³ y un promedio de 0.701 cm³ cm⁻³, para pF 2.3 su contenido se encuentra entre 0.464 a 0.652 cm³ cm⁻³ y un promedio de 0.540 cm³ cm⁻³ y finalmente para el punto pF 4.2 su contenido está entre 0.297 a 0.434 cm³ cm⁻³ y un promedio de 0.374 cm³ cm⁻³.

En la Tabla 4 se muestran las propiedades químicas de estos suelos, donde se puede apreciar que el pH posee valores que van desde 5.10 a 6.00 y un promedio de 5.57 lo que concuerda con lo encontrado por (Bach et al., 2003b) en sitios de bosque montano en Yungas-Bolivia en donde este tipo de suelos bajo bosque son ligeramente ácidos. La MO se caracteriza por presentar valores entre 4.59 a 10.82% y un promedio de 6.61%, la SB presenta valores entre 6.71 a 57.33% y un promedio de 38.85%, el NT posee valores que van desde 0.25 a 0.53% y un promedio de 0.37%, el contenido de NH₄ se encuentra en un rango que va desde 60.70 a 112.70 ppm y un promedio de 90.20 ppm, el contenido de NO₃ que se caracteriza por estar en un rango que va desde 2.10 a 6.50 ppm y

un promedio de 4.38 ppm, el P que posee valores entre 0.24 a 5.20 ppm y un promedio de 4.16 ppm, en cuanto al contenido de Fe se presentan valores entre 103.70 a 651.40 y un promedio de 263.13 ppm, el contenido de Mn que se encuentra entre 4.30 a 66.80 ppm y un promedio de 37.37 ppm, el contenido de K se caracteriza por presentar valores de entre 0.08 a 0.46 meq 100ml⁻¹ y un promedio de 0.27 meq 100ml⁻¹, el contenido de Ca se encuentra entre 1.09 a 12.66 meq 100ml⁻¹ y un promedio de 7.15 meq 100ml⁻¹, el Mg presenta valores característicos entre 0.79 a 2.50 meq 100ml⁻¹ y un promedio de 1.80 meq 100ml⁻¹, el Al+H se encuentra en un rango que va desde 0.50 a 3.00 meq 100ml⁻¹ y un promedio de 1.23 meq 100ml⁻¹ y finalmente la CICE que se caracteriza por poseer valores entre 2.75 a 15.86 meq 100ml⁻¹ y un promedio de 10.48 meq 100ml⁻¹.

Las principales características de los suelos de los observatorios Aguarongo y Mazar están dadas por las propiedades típicas del orden de suelo y también por el aporte de material orgánico por parte del bosque, el mismo que brinda características únicas como las observadas en el estudio realizado por Silver., et al (1999), en donde los contenidos y características de los suelos son similares, como es el caso del pH ligeramente ácido, nitrógeno total, un alto contenido de materia orgánica y la densidad aparente que se encuentra en un rango de 0.60 a 1.44 g cm⁻³. Generalmente los suelos de los bosques tropicales se encuentran fuertemente meteorizados o son pobres en nutrientes, sin embargo la materia orgánica del suelo contiene la mayoría de nutrientes disponibles para las plantas (Wilcke et al., 2002), siendo esta materia orgánica la que impone un conjunto único de características en el suelo (Comerford, 2006).

5.2 Efectos del cambio de uso del suelo sobre las propiedades físicas de los suelos de páramo

5.2.1 Efecto de la forestación sobre las propiedades físicas de los suelos bajo pajonal

A continuación se describirán los efectos de la forestación con pino (*pinus patula* y *pinus radiata*), sobre las propiedades físicas de los suelos altoandinos de las microcuencas de los ríos Zhurucay y Soldados; esto en contraste con los sitios de pajonal natural es decir no intervenido o sitios testigo (P). Para analizar el efecto de la forestación con bosque de pino bajo (BpB), se analizaron los datos tomados en la microcuenca del río Zhurucay.

Estos sitios de bosque de pino bajo (BpB) como se puede ver en la Tabla 1 se caracterizan por estar situados en su mayoría a una altura de entre 3763 hasta 3850 m s.n.m, en suelos cuyo primer horizonte es un Ah, con una profundidad de 40 a 43 cm y un color característico de suelos Andicos 10YR 1.7/1, de textura franco arenosa y estructura migajosa.

En cuanto a las características físicas de los suelos bajo cobertura de BpB, se puede apreciar (ver Tabla 3) que los valores correspondientes a arena se encuentran en un rango que va desde 52 a 72%, mientras que el porcentaje de limo está entre el 12 a 18% y la arcilla se encuentra en un rango del 16 al 34%. En el caso de la K_{sat} se encuentran valores desde 1.59 a 2.79 $cm\ h^{-1}$ y un promedio de 2.11 $cm\ h^{-1}$, en el caso de la DA se tienen valores desde 0.380 a 0.808 $g\ cm^{-3}$ y un promedio de 0.656, el punto de humedad de saturación (pF_0) tiene valores desde los 0.648 a 0.759 $cm^3\ cm^{-3}$ y un valor promedio de 0.716 $cm^3\ cm^{-3}$, en el caso del ($pF_{2.3}$) se tienen valores entre los 0.588 a 0.723 y un promedio de 0.648 $cm^3\ cm^{-3}$, para el caso del punto de marchitez permanente ($pF_{4.3}$) se



presentaron valores desde 0.398 a 0.519 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ y valores promedio de 0.457 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$.

Mediante la aplicación de la prueba de Mann-Whitney para comparar dos grupos de datos independientes, en este caso los sitios de P y BpB correspondientes a los sitios ubicados en Zhurucay, se encontraron diferencias muy significativas (ver Tablas 5 y 6) en cuanto a los valores correspondientes a K_{sat} y pF 2.3 ($p < 0.10$). En el caso de la K_{sat} , como se puede apreciar en la Figura 3, esta diferencia se debe a un aumento de la misma en los suelos bajo BpB, con un promedio de 2.11 cm h^{-1} con respecto a los suelos bajo P que tienen un promedio de 1.19 cm h^{-1} . Esto quiere decir que el agua en el suelos bajo BpB se mueven mucho más rápido que en los suelos bajo P, lo cual podría deberse al incremento de macro poros y flujos preferenciales formados por las raíces de los arboles.

Para el caso del punto de pF 2.3 se observa un descenso al introducirse el bosque. La capacidad de retención de agua para un pF 2.3 baja de 0.743 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ los sitios de P a un promedio de 0.648 en los sitios con BpB. Esto quiere decir que la capacidad de retención de agua disminuye en el caso del BpB. Para la DA y HS también se identificaron diferencias significativas ($p < 0.25$); para la DA la diferencia se encuentra en un aumento de la misma para los suelos bajo BpB, con un promedio de 0,656 con relación a los valores de los sitios correspondientes a P que tienen un promedio de 0,468 g cm^{-3} . Esto se debe a la compactación del suelo, reordenamiento de los agregados y disminución del espacio poroso en los suelos bajo pino tal como explican (F. Hernández, Triana, & Daza, 2009); como se puede observar en la Figura 3, los contenidos volumétricos de agua a HS presenta un descenso en los sitios de BpB, en los cuales se observaron valores promedio de 0.716 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, con respecto al testigo de P con un promedio de 0.777 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, esto como consecuencia del aumento de la DA, ya que al compactarse el suelo se reduce la capacidad de retención de agua en el mismo.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tabla 5. Valores de significancia (valor p) para las variables físicas y químicas, prueba de Mann-Whitney para los observatorios de Zhurucay, Soldados, Aguarongo y Mazar.

Observatorio		Zhurucay					Soldados		Aguarongo		Mazar
		P-BpB	P-BpM	P-Pq	P-Pa	P-Ppa	P-BpM	P-Ppa	Bm-C	Bm-Pa	Bm-Pa
pH		0.145	0.073	0.083	0.482	0.364	0.886	0.533	0.788	0.876	0.180
MO	%	1.000	0.036	0.060	0.482	0.518	0.686	0.533	0.412	0.876	0.394
SB		0.282	0.036	0.112	0.727	0.669	0.343	1.000	0.788	0.755	0.937
NT		0.100	0.436	0.240	0.727	0.797	0.686	0.373	0.648	0.755	0.394
NH ₄	Ppm	1.000	0.582	0.438	0.727	0.298	0.343	0.267	0.648	0.639	0.485
NO ₃		0.145	0.727	0.083	0.282	0.438	0.686	1.000	0.230	0.530	0.937
P		0.600	0.909	0.797	0.727	0.606	1.000	0.267	0.788	1.000	0.041
Fe		0.864	0.145	0.190	0.282	0.797	0.029	0.133	0.527	0.268	0.240
Mn		0.282	0.145	0.147	0.727	0.112	1.000	0.267	0.230	0.876	0.937
K	meq 100ml ⁻¹	0.036	0.327	0.298	0.727	0.699	0.343	0.800	0.648	0.639	0.041
Ca		0.373	0.145	0.699	0.036	0.606	0.029	0.800	0.164	0.755	0.699
Mg		0.036	0.436	0.298	0.018	0.147	0.200	0.800	0.315	0.268	0.699
Al+H		0.373	0.073	0.699	0.036	0.364	0.686	0.533	0.927	0.755	0.485
CICE		0.282	0.145	0.606	0.018	0.298	0.200	0.533	0.230	1.000	0.937
Arena	%	0.864	0.909	0.364	0.145	0.699	0.686	0.267	0.527	0.343	0.818
Limo		1.000	0.436	0.898	0.209	0.797	0.486	0.800	0.412	1.000	0.699
Arcilla		0.864	0.145	0.019	0.482	0.606	0.686	0.133	0.927	0.530	0.937
Ksat	cm h ⁻¹	0.100	0.036	0.438	0.145	0.240	0.200	0.133	0.164	0.202	0.093
DA	g cc	0.209	0.582	0.606	0.145	0.518	1.000	0.800	0.109	1.000	0.310
pF 0	cc cc ⁻¹	0.145	0.727	0.438	0.482	0.240	0.886	1.000	0.006	0.876	0.132
pF 2.3		0.100	1.000	0.298	0.282	0.364	1.000	0.800	0.164	1.000	0.394
pF 4.2		0.727	0.909	1.000	0.145	0.518	0.886	0.800	0.315	0.432	0.589

P, Pajonal; BpB, Bosque de pino bajo; BpM, Bosque de pino medio; Pq, Pajonal quemado; Pa, Pasto; Ppa, Pajonal con pastoreo; A, Aguarongo; Bm, Bosque montano; C, Cultivos.

Muy significativa 0 – 0.10

Significante 0.10 – 0.25

Poco significativa 0.25 – 0.35

No significativa 0.35 – 1



En los páramos del Ecuador se han realizado investigaciones para determinar el efecto del cambio de uso del suelo sobre las propiedades hídricas de los Andosoles, en las cuales se encontró que la introducción de plantaciones de pino en el páramo produjo una reducción en el contenido de humedad del suelo. En consecuencia, esta investigación confirma los resultados de las investigaciones anteriores que muestran que los cambios en el uso del suelo pueden afectar significativamente las propiedades hidrofísicas de los mismos. Especialmente se confirma lo encontrado por (F. Hernández et al., 2009) cuando disminuye la humedad de capacidad de campo, y su consecuente pérdida de las propiedades de drenaje natural del suelo, disminuyendo la retención de agua, la capacidad de infiltración, la porosidad y la densidad aparente, afectando de manera directa la función hidrológica original de los suelos de páramo, lo cual también concuerda con lo encontrado por (Hartsig, 2011).

Por otra parte, para los contenidos de arena, limo, arcilla y punto de pF4.2 (MP) no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.35$).



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tabla 6. Valores de significancia para las variables físicas y químicas, prueba de Mann-Wihtney para los observatorios de Zhurucay, Soldados, Aguarongo y Mazar.

Observatorio		Zhurucay					Soldados		Aguarongo		Mazar
		P-BpB	P-BpM	P-Pq	P-Pa	P-Ppa	P-BpM	P-Ppa	Bm-C	Bm-Pa	Bm-Pa
pH		**	***	***	—	—	—	—	—	—	**
MO	%	—	***	***	—	—	—	—	—	—	—
SB		*	***	**	—	—	*	—	—	—	—
NT		***	—	**	—	—	—	—	—	—	—
NH ₄	Ppm	—	—	—	—	*	*	*	—	—	—
NO ₃		**	—	***	*	—	—	—	**	—	—
P		—	—	—	—	—	—	*	—	—	***
Fe		—	**	**	*	—	***	**	—	*	**
Mn		*	**	**	—	**	—	*	**	—	—
K	meq 100ml ⁻¹	***	*	*	—	—	*	—	—	—	***
Ca		—	**	—	***	—	***	—	**	—	—
Mg		***	—	*	***	**	**	—	*	*	—
Al+H		—	***	—	***	—	—	—	—	—	—
CICE		*	**	—	***	*	**	—	**	—	—
Arena	%	—	—	—	**	—	—	*	—	*	—
Limo		—	—	—	**	—	—	—	—	—	—
Arcilla		—	**	***	—	—	—	**	—	—	—
Ksat	cm h ⁻¹	***	***	—	**	**	**	**	**	**	***
DA	g cc	**	—	—	**	—	—	—	***	—	*
pF 0	cc cc ⁻¹	**	—	—	—	*	—	—	***	—	**
pF 2.3		***	—	*	*	—	—	—	**	—	—
pF 4.2		—	—	—	**	—	—	—	*	—	—

*** = Muy significativa 0 – 0.10

** = Significante 0.10 – 0.25

* = Poco significativa 0.25 – 0.35

— = No significativa 0.35 – 1



Para analizar los impactos del BpM sobre las propiedades físicas de los suelos de páramo se utilizaron las muestras recolectadas en las zonas de Zhurucay y Soldados. En el caso de los suelos bajo cobertura de BpM ubicados en la zona de Zhurucay se caracterizan por estar a una altura de 3476 a 3622 m.s.n.m., los suelos más comunes en estos sitios fueron los Andosoles con un primer horizonte característico correspondiente a un Ah el cual presentó un espesor de 40 a 60 cm en promedio, el color de estos horizontes corresponde a un 10 YR 1.7/1; de textura franco arcillosa y estructura migajosa.

Además en la Figura 3 se puede observar que los porcentajes de arena se encuentran en un rango desde 70 a 72% y un promedio de 71%, el porcentaje de limo varía entre el 16 al 22% y con un promedio de 19%, en el caso de la arcilla se tienen porcentajes que van desde 6 a 14% y un promedio de 10%, en relación a la k_{sat} se tienen valores de entre 2.77 a 7.44 y un promedio de 5.10 cm h^{-1} , la DA se encuentra en un rango entre 0.370 a 0.500 g cm^{-3} y con un promedio de 0.435 g cm^{-3} , los contenidos de humedad a HS están entre los 0.766 a 0.804 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ y un promedio de 0.785 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, para el caso del punto de pF 2.3 se tienen valores de entre 0.721 a 0.744 y un promedio de 0.732 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, para el punto de MP se tienen valores de entre 0.385 hasta 0.488 y un promedio de 0.437 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$.

Después de realizadas las pruebas de Mann-Whitney, en el observatorio de Zhurucay para encontrar diferencias entre los grupos de muestras de los sitios de P y BpM, para las variables físicas; los resultados indicaron para el caso de la K_{sat} existe una diferencia muy significativa ($p < 0.10$) debido a un aumento de la misma en los sitios de BpM en relación a los sitios de P (ver Figura 3), con un promedio de 5.10 a 1.19 cm h^{-1} respectivamente; lo cual concuerda con lo encontrado en el caso del efecto del BpB sobre los suelos bajo P del presente estudio, lo cual puede



deberse a flujos preferenciales formados por las raíces de los árboles. Para el caso de la arcilla como se puede apreciar en las Tablas 5 y 6, se presentan diferencias significativas ($p < 0.25$), ya que existe un descenso en relación a los suelos bajo P con promedios de 10 a 22% respectivamente; para las variables restantes como son DA, HS, pF 2.3 y MP no se observaron diferencias estadísticamente representativas.

A continuación se describen los impactos de la forestación con pino sobre las propiedades físicas sobre los suelos de los sitios de bosque de pino levantados en la microcuenca de Soldados, más adelante se describen las principales características físicas para estos sitios forestados con pino; en este caso también se clasificaron los distintos sitios de pino en sitios con BpM; así tenemos que estos se encuentran a una altura que va desde los 3664 hasta los 3755 m.s.n.m. y se caracterizan por tener suelos de tipo Andosol con un horizonte Ah característico de 25 a 60 cm de espesor y un color 10YR2/1 de textura franco arcillo arenoso y estructura granular.

Tal como se describe en la Tabla 3 los sitios correspondientes a BpM se caracterizan por poseer contenidos de arena en un rango de 40 a 62% y un promedio de 54%, el limo tiene valores mínimos de 20% y máximos de 26% y un promedio de 23%, el contenido de arcilla está entre el 18 al 36% y un promedio de 24%, la K_{sat} está en un rango entre 1.70 a 16.9 y un valor promedio de 9.21 cm h^{-1} , en el caso de la DA se caracteriza por presentar valores mínimos de 0.659 y máximos de 0.894 g cm^{-3} y un promedio de 0.763 g cm^{-3} , la HS está caracterizada por poseer valores mínimos de 0.655 y máximos de 0.734 y un promedio de $0.700 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, el punto de pF 2.3 presenta valores desde 0.493 a 0.563 y un promedio de $0.532 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, el contenido de humedad en el punto de MP se caracteriza por tener valores comprendidos entre 0.328 a 0.540 y un promedio de $0.408 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.



Realizadas las pruebas de Mann-Withney para dos grupos independientes (P y BpM) como se describe en las Tablas 5 y 6, se determinaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.35$) para la K_{sat} de los sitios de BpM en relación a los sitios de P. Esta diferencia se puede apreciar claramente en la Figura 3, con un aumento de la K_{sat} en relación a los sitios de P ya que los valores promedio de estos están entre los 1.99 cm h^{-1} y de 9.21 cm h^{-1} para los sitios de BpM, lo cual concuerda con lo encontrado en el caso del efecto del Bp en la microcuenca de Zhurucay. Por otro lado no se encontraron diferencias para el caso de los contenidos de arena, limo, arcilla, DA, HS, pF2.3 y MP con respecto a los suelos bajo P; lo cual se corrobora en la Figura 3. Esto puede ser debido a que los suelos de Soldados son suelos que presentan menores contenidos de MO y nutrientes en general en comparación a los suelos de Zhurucay, donde se observan altos contenidos de MO, además es importante mencionar que si bien los efectos del BpM en Soldados no presenta las mismas tendencias que en Zhurucay, en primera instancia esto se debe a que las diferencias son más pequeñas en Soldados por lo que estadísticamente no son representativas pero básicamente se evidencia una tendencia parecida entre los efectos del pino en los dos observatorios (Ver Figura 3).

5.2.2 Efecto de la quema sobre las propiedades físicas de los suelos bajo pajonal

A continuación se describirá el efecto de la quema sobre los suelos de páramo. Para alcanzar este objetivo se realizará una comparación entre los sitios de pajonal quemado (Pq) con respecto a sitios de pajonal (P) sin intervención, es decir, sitios inalterados, los cuales servirán como testigos. Existen algunos autores como (Poulenard, Podwojewski, Bartoli, & Michel, 2005) que afirman que el aumento en la temperatura de los suelos de



páramo tiene consecuencias irreversibles ya que el grado de secamiento de los suelos es proporcional a la hidrofobicidad que se produce. Esta relación entre la repelencia al agua y los procesos de erosión también afecta a los horizontes superficiales de suelos ricos en materia orgánica que han sido quemados o que se encuentran descubiertos.

En la microcuenca del Zhurucay como en otros sitios de páramo de acuerdo a lo encontrado por (Balslev & Luteyn, 1992) se ha identificado que desde la llegada de los españoles en el año 1500, los páramos han sido utilizados para el pastoreo de ganado, ovejas y caballos. Cabe recalcar que las quemas en Zhurucay se dan de manera controlada, esto quiere decir que los propietarios de los terrenos queman el pajonal pero solo hasta el punto en que este se puede recuperar y aportar alimento para los animales según información obtenida de los propietarios de los predios y por verificación en campo durante el levantamiento de información.

Los sitios de Pq dentro de la microcuenca del río Zhurucay se caracterizan por estar situados a una altura desde los 3604 hasta 3820 m s.n.m.; los suelos característicos son Andosoles con un horizonte Ah característico de color 10YR1.7/1, de textura franco arenosa y de estructura migajosa. (Ver Tabla 1).

Las principales características físicas de estos sitios de Pq se describirán a continuación. En el caso del contenido de arena está entre el 66 a 78%, los contenidos de limo están entre el 12 a 22% y un promedio de 16%, la arcilla se encuentra en porcentajes desde 10 a 16% y un promedio de 12%, la k_{sat} se caracteriza por poseer valores de entre 1.11 a 1.67 y un valor promedio de 1.40 cm h^{-1} , la DA está entre 0.380 a 0.650 y un promedio de 0.499 g cm^{-3} , para el caso de la HS se tienen valores que van desde los 0.713 a 0.804 cm cm^{-3} y un promedio de 0.756 cm cm^{-3} , el

pF 2.3 está en un rango de 0.612 a 0.732 y un promedio de 0.697 cm cm^{-3} , el punto de MP tiene valores mínimos de 0.234 y máximos de 0.520 cm cm^{-3} y un promedio de 0.410 cm cm^{-3} .

Las pruebas de Mann-Whitney para identificar diferencias entre los sitios de Pq y P, dieron como resultado una diferencia muy significativa para el caso del contenido de arcilla, lo cual se puede observar en la Figura 2 como un descenso con respecto a los sitios de P, ya que el contenido promedio de arcilla para los sitios de P es de 22% y para los sitios de Pq es de 12%, esto puede deberse a que el método utilizado para la determinación de la textura para este tipo de suelos no es el más apropiado ya que al momento de la quema se pueden formar pseudo agregados que se confunden con arenas con un consecuente incremento del porcentaje de arena, esto se puede evidenciar en la Figura 2, lo más recomendable sería que los laboratorios apliquen métodos más apropiados para la determinación de textura en este tipo de suelos.

En el caso del punto de pF 2.3 se identificó una diferencia poco significativa lo cual se puede observar con una tendencia a disminuir en relación a los sitios de P, ya que los valores promedio para los sitios de P es de $0.743 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ y para los sitios de Pq de $0.732 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, esta pequeña disminución en la capacidad de retención de agua en el suelo coincide con los resultados encontrados por (Wouter Buytaert, 2004c) y se debe a que la destrucción de la forma típica de partículas de alófana causa una reducción en la capacidad de retención de agua del suelo. Por otra parte para el caso de la arena, limo, K_{sat} , DA, HS y MP no se identificaron diferencias en relación al testigo de P. Esto puede deberse a que las quemas se las realiza de manera controlada lo cual no incrementa la temperatura del suelo de manera significativa.

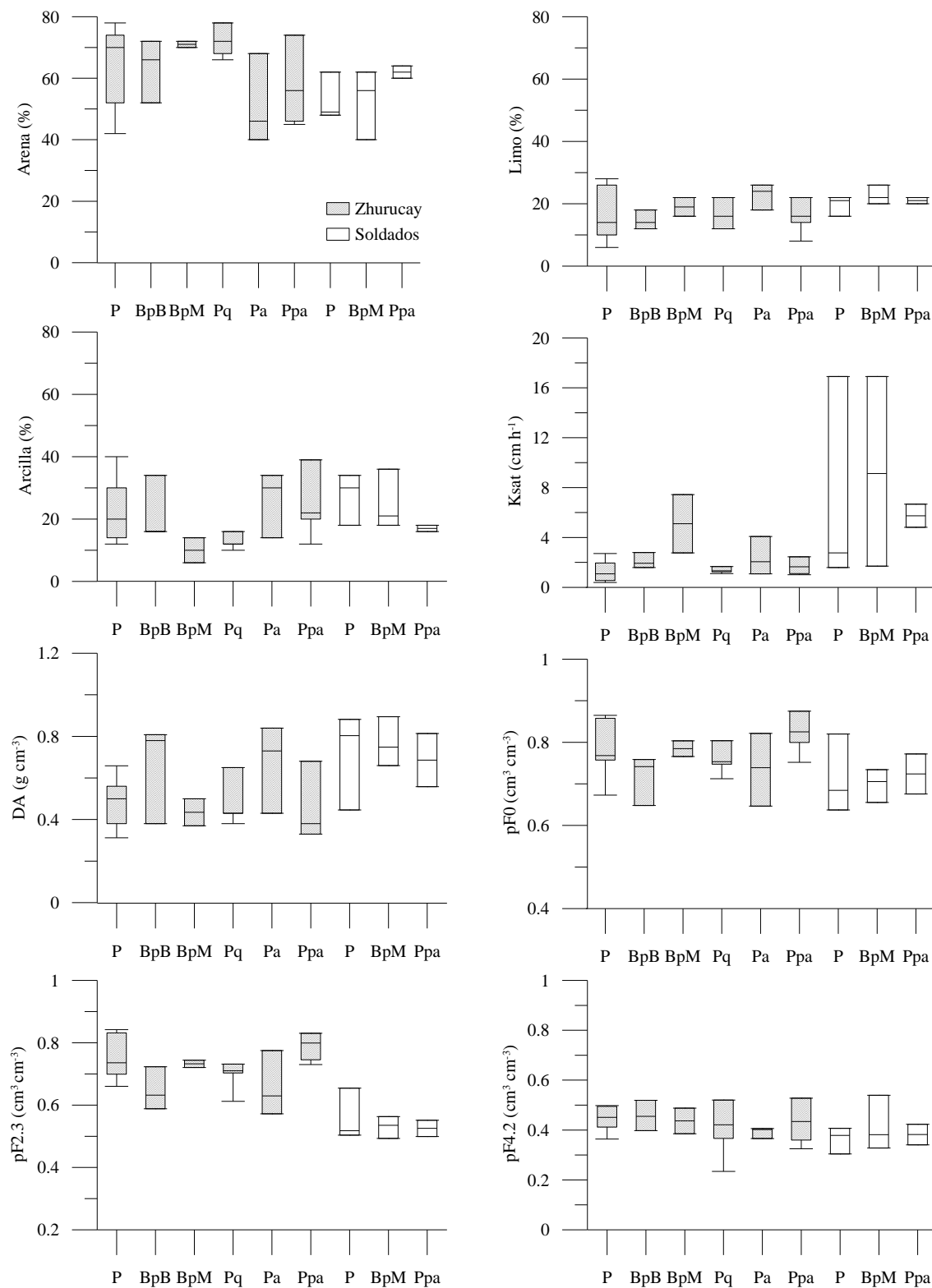
5.2.3 Efecto del pasto cultivado sobre las propiedades físicas de los suelos bajo pajonal

En la zona de Zhurucay existen sitios donde se ha eliminado el P y se lo ha reemplazado por pasto (Pa), destinado al pastoreo extensivo, según (Wouter Buytaert, 2004c), en zonas de páramo la vegetación es quemada y la tierra arada para ser cultivada. Debido a la ausencia de fertilización de estos suelos y a los cambios en la estructura del mismo, éste se agota con frecuencia después de dos años o probablemente un poco más de tiempo, las tierras agrícolas se convierten en pastizales. Este pasto es utilizado como zona de pastoreo extensivo de ganado, ovejas y otros animales, tales como alpacas.

A continuación se evaluará el efecto que tiene el Pa sobre las propiedades físicas de los suelos de páramo; cabe recalcar que estos sitios se encuentran ubicados dentro de la microcuenca del río Zhurucay con alturas que oscilan entre los 3453 hasta los 3661 m s.n.m., el suelo encontrado en estos sitios es de tipo Andosol con un horizonte Ap debido al laboreo e intervención antrópica, este horizonte tiene un espesor de 26 a 60cm; un color 10YR2/2, de textura franco arcillo arenosa y de estructura migajosa.

Además en la Tabla 3 se describen las principales características hidrofísicas de los suelos bajo Pa; así se tiene que el contenido de arena presenta valores que están dentro de un rango del 40 a 68% y un promedio de 51%, el limo de 18 a 26% y un promedio de 23%, la arcilla de 14 a 34% y un promedio de 26%.

Figura 3. Boxplots páramo Zhurucay y Soldados; propiedades hidrofísicas de los sitios de estudio.



La k_{sat} está en un rango de entre 1.08 a 4.08 cm h^{-1} y un promedio de 2.40, en el caso de la CC se encuentran valores comunes de entre 0.430 a 0.840 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ y un promedio de 0.667, la HS se encuentra caracterizada por valores de entre 0.647 hasta 0.822 y un promedio de 0.736 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, el punto de pF 2.3 oscila entre los 0.572 a 0.775 y un valor promedio de 0.659 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ el punto de MP se caracteriza por tener valores máximos de 0.366 y mínimos de 0.406 y un promedio de 0.391 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$.

Realizadas las pruebas de Mann-Whitney para identificar diferencias en este caso entre los sitios de P y Pa, tenemos que existen diferencias significativas en cuanto a los contenidos de arena, limo, K_{sat} , DA y MP ($p < 0.25$) en relación a los sitios de P (ver Tablas 5 y 6). En el caso del contenido de arena existe un descenso en cuanto a los sitios de Pa (51%) con respecto a los sitios de P (62%) tal como se puede observar en la Figura 3. Para el caso del contenido de limo existe un aumento con respecto a los sitios de P (16%) ya que los sitios de Pa posee valores promedio de 23%, la k_{sat} se caracteriza por presentar un aumento con respecto a los sitios de P, con valores promedio de 2.40 y 1.19 respectivamente; ésto concuerda con lo encontrado por (Shaxson & Barber, 2005), quienes determinaron que la intervención humana acelera la pérdida de MO del suelo llevando a un progresivo deterioro de su arquitectura y a una reducción del número y de la estabilidad de los poros que permiten el crecimiento de raíces y el movimiento del agua y por ende un aumento en la conductividad de la misma a través del suelo. En cuanto a la DA se produce un aumento en relación a los sitios de P con un promedio de 0.468 cm h^{-1} y 0.667 cm h^{-1} para los sitios con Pa, este aumento de la DA se la puede atribuir al pisoteo de los animales (Dormaar, Smoliak, & Willms, 1989); en el caso de la CC la diferencia se presenta como una tendencia al descenso con respecto al testigo de P, ya que los contenidos promedio para los sitios de Pa son de 0.659; además

se tiene que para el caso del punto de MP se presenta un descenso con respecto a los sitios de P, ya que los sitios de Pa poseen valores promedios de $0.391 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, esto sería una consecuencia del aumento de la DA ya que como expresa (F. Hernández et al., 2009), en las características físicas de los suelos del páramo reside gran parte de su fragilidad. Las bajas densidades aparentes, la elevada capacidad de retención de agua y las condiciones de consistencia muy friable, limitan su uso para actividades que someten al suelo a cargas fuertes y constantes como las ocasionadas por el pisoteo continuo del ganado. Además según (R Hofstede, 1997) la menor retención de agua en localidades pastoreadas y quemadas probablemente está causada por la desaparición de una capa cerrada de plantas, ya que la presencia de una capa de plantas constantemente húmeda es importante para mantener una buena retención de agua en el suelo. En cuanto a las restantes variables como son arcilla y HS no existen diferencias estadísticamente representativas ($p>0.35$).

5.2.4 Efectos del pastoreo extensivo sobre las propiedades físicas de los suelos bajo pajonal

En las microcuencas de Zhurucay y Soldados existen sitios que se encuentran cubiertos por P que son utilizados para el pastoreo extensivo de ganado. Estos suelos bajo pajonal con pastoreo (Ppa) se ubican principalmente en las partes bajas de las microcuencas en fondos de valle y cercanos a los cauces del río debido a la facilidad de acceso al agua para los animales.

Para el caso de la microcuenca del río Zhurucay los suelos bajo pajonal con pastoreo (Ppa) se encuentran ubicados a una altura de entre 3530 y 3848 m s.n.m. los suelos característicos de estos sitios son andosoles con una profundidad del primer horizonte Ah de 30 a 60cm y un color característico 10YR1.7/1, de textura franca arenosa y estructura migajosa.

En cuanto al porcentaje de arena encontrados en los suelos bajo Ppa para la cuenca del río Zhurucay se tienen valores que están entre el 45 a 74% y un valor promedio de 59%, en el caso del limo se encuentra en un rango de 8 a 22% y un promedio de 16%, el contenido de arcilla va desde el 12 al 39% y un promedio de 25%, en el caso de la K_{sat} se presentan valores de 1.01 a 2.45 cm h^{-1} y un promedio de 1.64 cm h^{-1} , para el caso de la DA se caracteriza por tener valores de entre 1.01 a 2.45 g cm^{-3} y un promedio de 1.63 g cm^{-3} , la HS, está entre 0.752 a 0.875 y un promedio de 0.817 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, para la CC se tienen valores que van desde 0.730 a 0.831 y un promedio de 0.782 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, para el caso del contenido de humedad en el punto de MP está en un rango de entre 0.325 a 0.528 y un promedio de 0.417 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$.

Aplicada la prueba de Mann-Whitney, para comparar los grupos de muestras independientes correspondientes a P y Ppa en la microcuenca del río Zhurucay se identificaron diferencias significativas ($p < 0.25$) para el caso de la K_{sat} y una diferencia poco significativa ($p < 0.35$) para el caso de la HS (Ver Tablas 5 y 6). En cuanto a la K_{sat} esta diferencia se puede observar en la Figura 2 como un aumento en relación a los sitios de P; con unos valores promedio de 1.19 para el caso del Ppa y de 1.64 y cm h^{-1} para P, según (Plasentis, 1994) cuando se modifica la distribución del tamaño de los poros, se incrementa la capacidad del suelo para retener agua a bajas succiones, y consecuentemente la infiltración; para el caso de la HS existe una tendencia a aumentar en relación a los sitios de P con un $p = 0.24$ y valores promedio de 0.817 para Ppa y 0.777 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ para P, en cuanto a los contenidos de arena, limo, arcilla, DA, CC Y MP no existen diferencias ($p > 0.35$).

A continuación se definirán los efectos del pastoreo sobre los suelos bajo P dentro de la microcuenca de Soldados. Como se observa en la Tabla 1, los sitios de Ppa se caracterizan por estar ubicados a una altura que va

desde los 3750 a 3817 m s.n.m. con suelos Andosoles de horizontes Ah con un espesor de 25 a 35 cm con un color correspondiente a un 7.5YR1.7/1 de textura franco arcillo arenosa y estructura granular.

En cuanto al contenido de arena como se describe en la Tabla 3 se encuentra en un porcentaje mínimo de 60% y máximo de 64% y con un promedio de 62%, en cuanto al contenido de limo está entre el 20 a 22% y un promedio de 21%, para el caso de la arcilla se tienen valores que van desde el 16 a 18% y un promedio de 17%, la K_{sat} se caracteriza por tener valores que van desde 4.81 cm h^{-1} y 6.67, con un promedio de 5.74 cm h^{-1} , la DA tiene valores de 0.558 a 0.814 g cm^{-3} y un promedio de 0.686, para el caso de la HS presenta valores de 0.676 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ a 0.772 y un promedio de 0.724 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, la CC en estos sitios de Ppa se caracteriza por tener valores de 0.499 a 0.522 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ y valores promedio de 0.525, el punto de MP se caracteriza por tener valores de 0.341 a 0.423 y un promedio de 0.382 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$.

Llevadas a cabo las pruebas de Mann-Whitney para comparar dos grupos de muestras y encontrar diferencias entre ellos (P y Ppa) en la microcuenca de Soldados, dio como resultado que para el caso del contenido de arcilla y la K_{sat} existe una diferencia significativa ($p < 0.25$). En el caso de la arcilla dicha diferencia se puede observar en la Figura 3 con un descenso ya que el valor promedio de arcilla en los sitios de P es de 28% y para el caso del Ppa tiene un valor promedio de 17%; por otro lado la K_{sat} presenta un aumento en los sitios de Ppa ya que los valores promedio para la K_{sat} en el caso del P es de 1.99 cm h^{-1} con respecto a los sitios de Ppa cuyo valor promedio es de 5.74 cm h^{-1} . Esto puede deberse a flujos preferenciales provocados por las raíces que al morir y descomponerse forman túneles por los cuales el agua fluye más rápidamente. En el caso del contenido de arena se presenta una diferencia poco significativa ($p < 0.35$) y como se puede observar en la

Figura 3 la diferencia se presenta como una tendencia al aumento ya que el contenido promedio de arena para el caso del P es de 52% mientras que para el Ppa es de 62%, mientras que para las variables restantes como son limo, DA, HS, pF 2.3 y MP, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

5.2.5 Efectos de las prácticas agrícolas sobre las propiedades físicas de los suelos bajo bosque

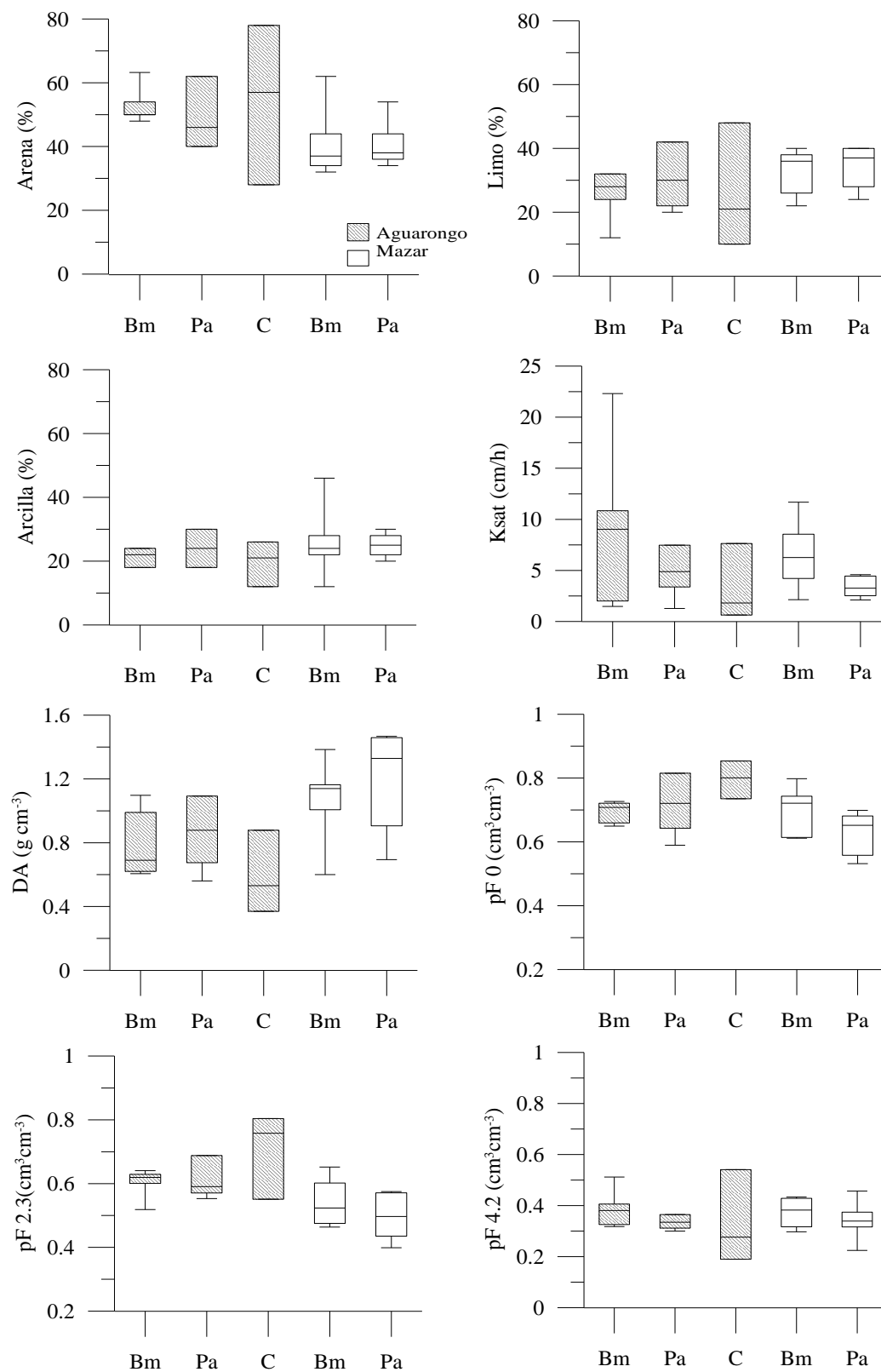
Para analizar los efectos de las prácticas agrícolas sobre las propiedades físicas de los suelos se utilizará la información recolectada en la zona del Bosque de Aguarongo (Bm). La alteración del entorno en esta zona está dada por el cambio de bosque a cultivos (C) principalmente papas y maíz los cuales traen como consecuencia que la capa de vegetación desaparezca, como cuando se realiza el arado para establecer el cultivo dejando expuesto el suelo al aire, lo que trae como consecuencia un aumento de la evaporación en la capa superficial del suelo (Robert Hofstede, 1997). En las Tablas 1 y 3 se puede observar las características y propiedades físicas de los suelos bajo C, en donde el tipo de suelo encontrado pertenece al orden de los Cambisoles, los mismos que tienen características como una profundidad del horizonte Ah que se encuentra entre 45 a 70 cm, con un color negro (7.5YR 1.7/1) y una textura franca arcillosa, también se pueden observar las propiedades físicas de los suelos bajo C, los cuales se caracterizan por poseer una K_{sat} que va desde 0.64 a 7.63 $cm\ h^{-1}$, la DA que va desde 0.370 a 0.878 $g\ cm^{-3}$ y finalmente los puntos de retención de humedad para pF 0, pF 2.3 y pF 4.2 con valores que van desde 0.735-0.853, 0.551-0.804 y 0.190-0.541 $cm^3\ cm^{-3}$ respectivamente.

Al realizar la prueba de Mann-Whitney para encontrar diferencias entre los suelos bajo C y los suelos bajo Bm, se identificó que existen diferencias muy significativas (Tablas 5 y 6) para el caso de la DA y pF 0. En cuanto a la DA se aprecia una disminución en los suelos bajo C comparado con los sitios de Bm, donde la labranza podría ser responsable de esta disminución. En cuanto a pF 0 se observa un aumento en los suelos bajo C, lo que es similar a lo reportado por el (Ministerio de Agricultura y Silvicultura del Gobierno Japonés, 1964), el mismo que indica que al haber una intervención sobre los suelos hay un aumento de los poros capilares, lo que conlleva a un incremento del contenido de agua a humedad de saturación. También se observó una diferencia significativa para la K_{sat} y pF 2.3, en donde la K_{sat} (Figura 3) en los suelos bajo C registra una disminución debido a que los suelos cultivados por varios años perdieron las raíces de los árboles que normalmente formaban flujos preferenciales que ocasionaban flujos de agua más rápidos, en cuanto al pF 2.3 se observa un aumento en los suelos bajo C (Figura 3), que es similar a lo registrado para el punto pF 0. Finalmente para el pF 4.2 se encontró una diferencia poco significativa, en donde se observa una tendencia a la disminución del pF 4.2 en los suelos bajo C.

5.2.6 Efectos del pastoreo extensivo sobre las propiedades físicas de los suelos bajo bosque

Debido a la acción humana, ecosistemas de bosque se han visto alterados como producto de la deforestación e introducción de actividades agropecuarias como lo son el pastoreo (Pa).

Figura 4. Boxplots bosque (Mazar y Aguarongo); propiedades hidrofísicas de los sitios de estudio.



En este sentido para analizar los efectos del pastoreo extensivo (Pa) sobre las propiedades de los suelos con respecto al bosque, se analizó la información recolectada en las zonas de Aguarongo y Mazar; es así que el bosque de la zona de Aguarongo, tiene como principal alteración del entorno el cambio a pastizales. Pudiéndose observar en las Tablas 1 y 3 las características y propiedades físicas de los suelos que se encuentran bajo Pa. El tipo de suelos predominante en la zona son los Cambisoles, estos suelos presentan características como una profundidad del horizonte A de 35 a 48 cm, con un color negro marrón (7.5YR 2/2) según la tabla de colores de Munsell y una textura franco arcillo arenosa. Los suelos bajo Pa presentan una K_{sat} que se caracteriza por valores de 1.27 $cm\ h^{-1}$ como mínimo y de 7.47 $cm\ h^{-1}$ como máximo; con un valor promedio de 4.43 $cm\ h^{-1}$, se registro una DA que se encuentra entre los 0.560 $g\ cm^{-3}$ hasta los 1.093 $g\ cm^{-3}$, con un valor promedio de 0.824 $g\ cm^{-3}$ y finalmente los puntos de retención de humedad para pF 0, pF 2.3 y pF 4.2 con valores que van desde 0.590 a 0.815, 0.553 a 0.688 y 0.300 a 0.365 $cm^3\ cm^{-3}$ respectivamente.

Para determinar las diferencias existentes entre los suelos bajo Pa y Bm de Aguarongo usamos la prueba de Mann-Whitney (Tablas 5 y 6), en donde se identificó que para el caso de la K_{sat} existe una diferencia significativa ($p < 0.35$) la misma que se presenta como una disminución para el caso de los sitios de Pa con respecto al Bm (Figura 4), atribuyendo esta disminución de la K_{sat} de los suelos bajo Pa, a la disminución del flujo preferencial ocasionado por las raíces (Stormont, 1995); por otra parte la arena registro una diferencia poco significativa ($p < 0.35$), esto se puede evidenciar con un descenso en su contenido en los suelos bajo Pa (Figura 4); para el caso de la arcilla, limo, DA y puntos de retención de humedad no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.35$). En este sentido el mayor impacto es la pérdida de horizontes 0 característicos de los bosques montanos.

Al igual que en la zona de Aguarongo, los bosques de Mazar debido a la acción humana se han visto muy alterados por la remoción del bosque y la implementación de pastizales, causando cambios en las características y propiedades de los suelos bajo pastos las mismas que se pueden observar en las Tablas 1 y 3, donde se tiene que el tipo de suelo predominante de suelos son los Cambisoles, estos suelos poseen una profundidad del horizonte A de 30 a 65 cm, con un color café (10YR 4/4) y una textura franca. En los suelos bajo Pa de Mazar la K_{sat} se caracteriza por presentar valores de 2.11 cm h^{-1} como mínimo y de 4.58 cm h^{-1} como máximo; con un valor promedio de 3.36 cm h^{-1} , se registró una DA que se encuentra entre los 0.694 g cm^{-3} hasta los 1.467 g cm^{-3} , con un valor promedio de 1.197 g cm^{-3} y finalmente los puntos de retención de humedad para pF 0, pF 2.3 y pF 4.2 con valores que van desde 0.532 a 0.699, 0.399 a 0.575 y 0.225 a 0.457 $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ respectivamente.

Para determinar las diferencias existentes entre los suelos bajo Pa y Bm de Mazar se utilizó la prueba de Mann-Whitney (Tablas 5 y 6), mediante la cual se identificaron diferencias muy significativas ($p < 0.10$) para el caso de la K_{sat} , que de igual manera como se registró en los suelos de Aguarongo existe una disminución en los suelos bajo Pa, debido a una reducción del flujo preferencial (Figura 4). Para pF0 se encontró un valor significativo ($p < 0.25$) lo cual se aprecia en la Tabla 5 como un descenso de la capacidad de retención de agua en los suelos bajo Pa, atribuyéndose este efecto a la compactación del suelo, ocasionado por el pisoteo del ganado (Dormaar et al., 1989) lo cual se evidencia en el aumento de la DA ($p < 0.35$).

5.3 Efectos del cambio de uso del suelo sobre las propiedades químicas

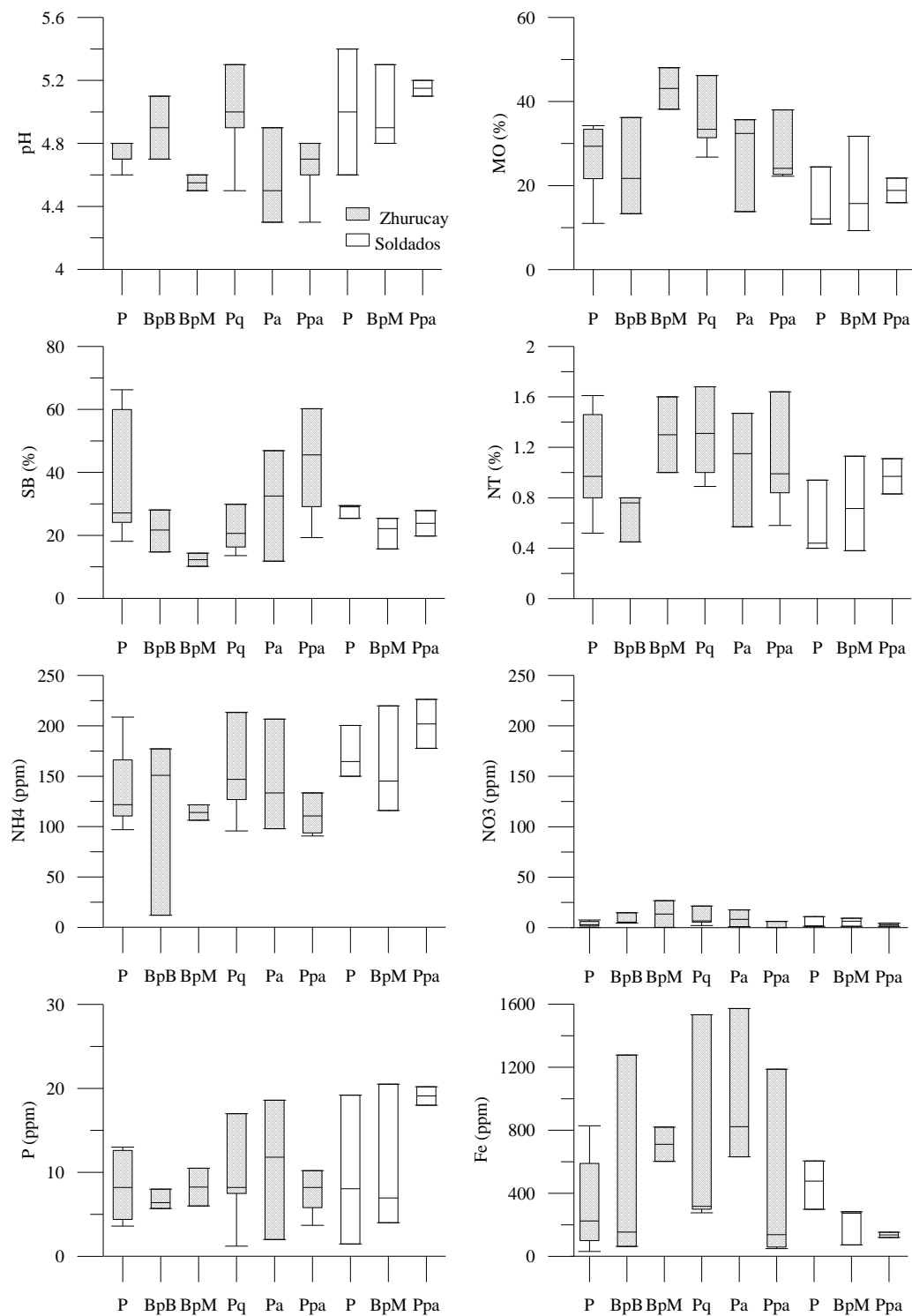
5.3.1 Efecto de la forestación sobre las propiedades químicas de los suelos bajo pajonal

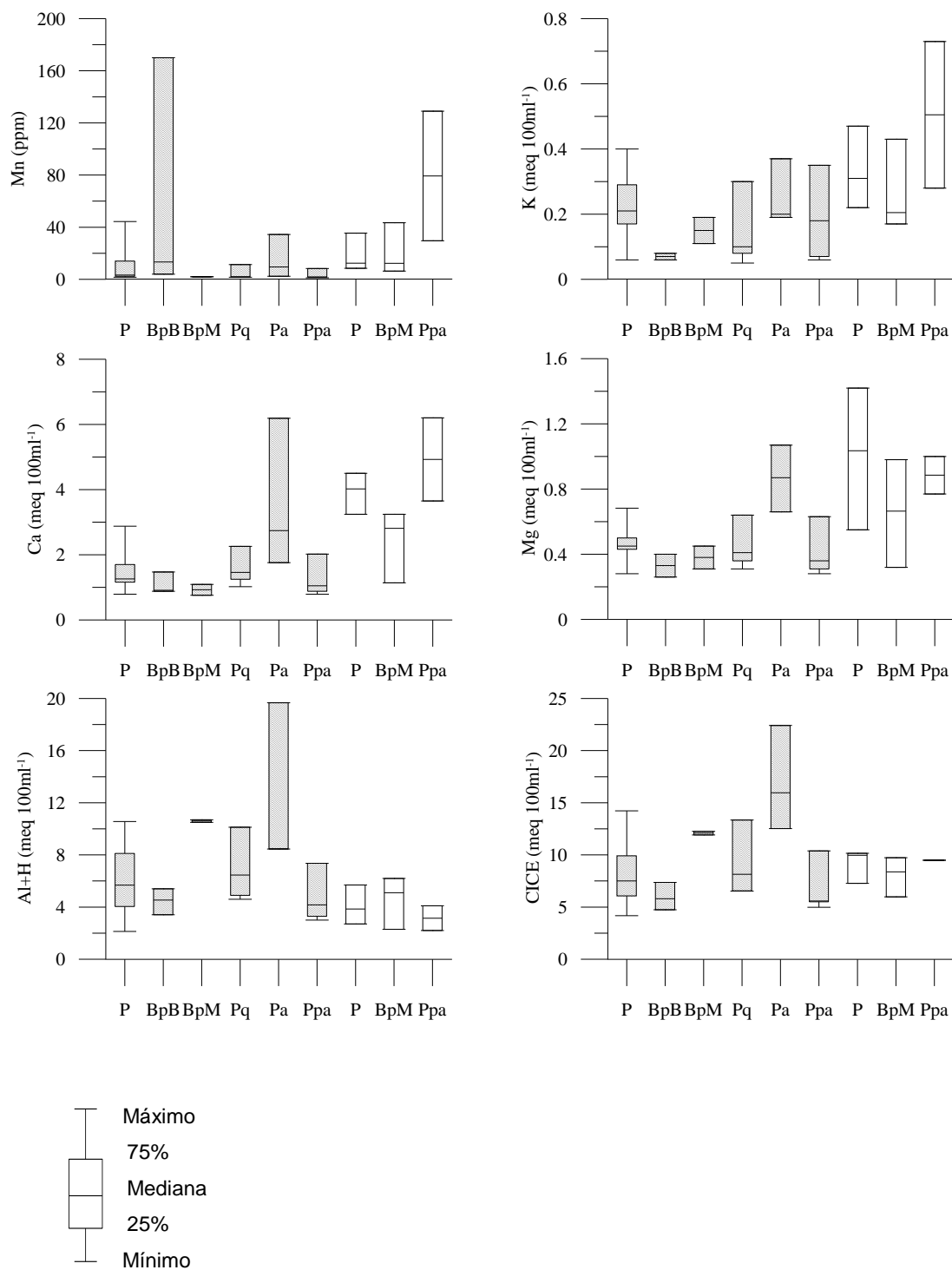
A continuación se describen los efectos de la forestación sobre las propiedades químicas de los suelos de páramo correspondientes a la microcuenca del río Zhurucay y Soldados para el análisis se utilizó la información recolectada en los diferentes observatorios, para lo cual en un principio se detallan las principales características químicas de los sitios de forestación con BpB correspondientes a la microcuenca del río Zhurucay (Tabla 4); así tenemos el pH con un valor mínimo de 4.70 y un máximo de 5.10 y un valor promedio de 4.90, en el caso de la MO se caracteriza por tener valores desde 13.33 a 36.19% y un porcentaje promedio de 23.74% para los sitios de BpB; la SB posee valores desde 14.72 a 28.06% y un valor promedio de 21.50%, el contenido de NT se caracteriza por tener valores de entre 0.45 a 0.80% y un promedio de 0.67%; para el caso del contenido de NH_4 , este se encuentra entre los 12.10 ppm a 177.20 y con un valor promedio de 113.37; los NO_3 están presentes con un valor mínimo de 4.50 ppm a 14.80 y un promedio de 8.27 ppm, el P presenta valores mínimos de 5.70 a 8 y un valor promedio de 6.70 ppm, el Fe posee valores de entre 63.10 y 1277 ppm y un promedio de 498.10 ppm, en cuanto al Mn presenta valores mínimos de 4 y máximos de 170 y un promedio de 62.43 ppm, en el caso del K se tienen valores de 0.06 meq100 ml^{-1} a 0.08 y un valor promedio de 0.07; los contenidos de Ca para estos sitios de BpB están entre los 0.88 a 1.47 meq100 ml^{-1} y un promedio de 1.09 meq100 ml^{-1} , los valores mínimos correspondientes a Mg son de 0.26 y los máximos de 0.40 meq100 ml^{-1} y un promedio de 0.33 meq100 ml^{-1} , el Al+H se encuentra entre los 3.41 a

5.40 meq100ml⁻¹ y un promedio de 4.45; para el caso de la CICE se tienen valores que van desde los 4.74 a 7.36 meq100ml⁻¹ y un valor promedio de 5.97.

Realizadas las pruebas de Mann-Whitney (Tablas 5 y 6) para comparar dos grupos de uso de suelo en este caso P y BpB se define que para el caso del NT, K y Mg existen diferencias muy significativas ($p < 0.10$) en el caso del NT esta diferencia como se aprecia en la Figura 4, se debe a un descenso de los valores de NT en los sitios de BpB ya que este posee un valor promedio de NT igual a 0.67% y de 1% en los sitios de P, esta disminución se debe a la mineralización del N orgánico a formas disponibles para las plantas (Havlin, Beaton, Tisdale, & Nelson, 1999); en cuanto al K esta diferencia se identificó con un descenso para los sitios de BpB (0.07 meq100ml⁻¹) con respecto a los sitios de P (0.22 meq100ml⁻¹) esto se debe a la transferencia de K del suelo a través de un flujo de masa hacia las raíces de las plantas aportando alrededor del 1 al 20% de la demanda de la planta que como consecuencia directa causa el agotamiento de iones de K en la solución del suelo (Hinsinger, 2006); para el caso del Mg como se observa en la Figura 4, la diferencia encontrada se debe a un descenso en los contenidos promedio ya que para el caso de los sitios de P es de 0.46 y para los sitios de BpB de 0.33 meq100ml⁻¹, según (Dorothea & Manfred, 1997) esto se debe a una tendencia al empobrecimiento de bases en los suelos bajo plantaciones de pino, esto acompañado de niveles significativamente menores de saturación de bases; por otra parte para el caso del pH y NO₃ se identificaron diferencias significativas ($p < 0.25$).

Figura 5. Boxplots páramo Zhurucay y Soldados; propiedades químicas de los sitios de estudio.





Para el pH esta diferencia se debe a un aumento en los sitios de BpB (4.90) en relación a los sitios de P (4.72), como se puede apreciar en la Figura 4, esto se debe a la resistencia del suelo a la acidificación, lo cual depende de procesos de intercambio de protones con sustancias que tienen capacidad buffer (e.g., cargas variables de sustancias orgánicas, de óxidos o minerales arcillosos). La velocidad de la acidificación depende de la capacidad buffer del suelo. Con un continuo input de protones al suelo, el pH del mismo baja más lento con mejor capacidad buffer. Al inicio de este proceso los suelos pierden cationes como Ca, Mg, Na y K que se intercambian por protones (Scheffer & Schachtschabel 1989). Así se explica la saturación de bases más baja en los horizontes superiores de suelos bajo plantaciones de pino aun sin que se muestre una acidificación notable (Dorothea & Manfred, 1997); en el caso del NO_3 se puede apreciar una diferencia debido a un aumento de 3.34 a 8.27 ppm de los contenidos promedio de NO_3 para los sitios de P y BpB respectivamente, esto debido a que las cantidades de NO_3 dependen en gran parte de la mineralización del N orgánico del suelo (Havlin et al., 1999) en este caso coincide con un descenso en el porcentaje de NT para los sitios de BpB. En cuanto a la SB, Mn y CICE se identificaron diferencias poco significativas ($p < 0.35$).

En lo que se refiere a la SB esta diferencia se puede observar como un descenso en los valores de SB en los sitios de BpB con respecto al testigo de P con promedios de 21.50 y 36.98% respectivamente, este descenso se debe al consumo de bases como el K y Mg los cuales disminuyen notablemente como se mencionó anteriormente, los valores correspondientes a Mn presenta un aumento con respecto a los sitios de P ya que los contenidos promedio de Mn para estos sitios es de 10.80 ppm y de 62.43 ppm para los sitios de BpB, según la literatura en suelos ricos en MO, con pH menor o igual a 5,5 y con elevadas condiciones reductoras se pueden producir acumulaciones de este elemento. Esto



debido a que a pH bajos su forma asimilable (bivalente) es muy abundante y puede dar lugar a su absorción en cantidades superiores a las necesarias para un desarrollo óptimo; la CICE presenta una tendencia al descenso en los sitios de BpB ($5.97 \text{ meq}100\text{ml}^{-1}$) con respecto a los sitios de P ($8.01 \text{ meq}100\text{ml}^{-1}$), esto debido a que la CICE está en función del pH del suelo, cuando el suelo pierde sus cationes, la capacidad de retención de los mismos también disminuye (Borja et al., 2008b). En el caso de la MO, NH_4 , P, Fe, Ca y Al+H no se encontraron diferencias (Tablas 5 y 6).

A continuación se describirán los efectos del BpM sobre las propiedades químicas de los suelos bajo P de los sitios correspondientes a las microcuencas de los ríos Zhurucay y Soldados, en primera instancia se describen las propiedades químicas (Tabla 4), para los sitios de BpM en la microcuenca de Zhurucay para conocer de manera general las principales características de los mismos, es así que para el caso del pH se tienen valores característicos de 4.50 a 4.60 y un promedio de 4.55, El contenido de MO está entre el 38.17 y 48.04% y en un promedio del 43.11%, para el caso de la SB se tienen valores característicos de 10.16 a 14.36 y un promedio de 12.26%, el porcentaje de NT se encuentra presente con valores mínimos de 1 y máximos de 1.60 y un valor promedio de 1.30%, el NH_4 en los sitios de BpM se caracteriza por poseer valores mínimos de 106.40 y máximos de 121.60 y un promedio de 114 ppm, los NO_3 tienen valores de 0.20 a 26.80 y un promedio de 13.50 ppm, el P posee valores que van desde los 6 a 10.50 ppm y un contenido promedio de 8.25 ppm; en el caso de los contenidos de Fe se caracterizan por tener valores mínimos de 602.50 y máximos de 820 y un promedio de 711.25 ppm, para el caso del Mn se tienen valores de 1.90 y 2.10 ppm y un valor promedio de 2 ppm, el K esta en un rango que va desde los 0.11 a 0.19 $\text{meq } 100\text{ml}^{-1}$ los mismos que son valores mínimos y máximos respectivamente, y un valor promedio de 0.15 $\text{meq}100\text{ml}^{-1}$, para

el caso del Ca se tienen valores mínimos de 0.76 y máximos de 1.09 meq 100ml^{-1} con un promedio de 0.93, en cuanto al Mg se tienen valores mínimos de 0.31 meq 100ml^{-1} y valores máximos de 0.45 y un promedio de 0.38 meq 100ml^{-1} , el Al+H está entre los 10.50 y 10.70 meq 100ml^{-1} y un promedio de 10.60 meq 100ml^{-1} , la CICE para los sitios de BpM tiene valores mínimos de 11.91 a 12.26 y valores promedio de 12.09 meq 100ml^{-1} .

Aplicadas las pruebas estadísticas de Mann-Whitney para determinar las diferencias entre los sitios de P y BpM se encontró que para el caso del pH, MO, SB y Al+H se determinaron diferencias muy significativas ($p < 0.10$), para el caso del pH esta diferencia se debe a un descenso de los valores de pH de los sitios de BpM (4.55) con relación a los sitios de P (4.72) esta acidificación en los suelos bajo BpM se debe a las características propias de las acículas de pino, las cuales influyen en el pH del suelo acidificándolo (Schlatter & Otero, 1995); además este descenso en los valores de pH puede deberse a la extracción de bases por el cultivo y por el lavado de bases (Porta, López Acevedo, & Roquero, 2003) lo cual se ve reflejado en la disminución del porcentaje de SB de los sitios de BpM como se verá más adelante; En general los sitios bajo P tienden a mostrar un valor de pH ligeramente más elevado que los sitios de BpM, para el caso de la MO se evidencia un incremento en los sitios de BpM (43.11%) con respecto a los sitios de P (25.19%) esto debido al aporte de grandes cantidades de acículas de pino que se descomponen y aportan MO (Prescott, Taylor, Parsons, Durall, & Pakirson, 1993).

La SB presenta un descenso en los sitios de BpM con respecto a los sitios de P, los cuales poseen valores promedios de SB equivalentes a 36.98% y los sitios de BpM un promedio de 12.26%, esto como consecuencia de lo explicado anteriormente para el caso del pH; el Al+H como se puede observar en la Figura 5 presenta un aumento, ya que los valores

promedios para $\text{Al} + \text{H}$ para los sitios de P ($5.84 \text{ meq } 100\text{ml}^{-1}$) y BpM ($10.60 \text{ meq } 100\text{ml}^{-1}$) esto podría deberse a que los iones de Al se liberan de las estructuras alofánicas (Jhonson & Maynard, 2006), por una meteorización influenciada por la actividad de las plantas lo que hace que el valor de la acidez intercambiable aumente dando como resultado problemas de toxicidad para las plantas por el incremento de la actividad del Al^{3+} y del H^{+} (Robarge & Wayne, 2008); en el caso del Fe, Mn, Ca y CICE se identificaron diferencias significativas con relación a los sitios de P. El Fe presenta un aumento en los sitios de BpM con relación a los sitios de P, ya que los contenidos promedio de Fe para los sitios con BpM y P son de 711.25 y 286.76 ppm respectivamente, los valores de Fe para los sitios de BpM presentan el doble de concentración que los suelos bajo P, esta elevada concentración podría llegar a niveles de toxicidad y está en función del descenso del pH lo cual aumentaría su solubilidad (Romheld & Miroslav, 2007). La diferencia para el caso del Mn se puede identificar en la Figura 4 con un descenso en los valores de Mn de los sitios de BpM (2 ppm) con relación a los sitios de P (10.80 ppm) esto puede ser atribuido a la rivalidad que existe entre el Fe y Mn, un exceso de Fe puede provocar una deficiencia de Mn, además en suelos ricos en MO, se forman complejo estables entre ácidos húmicos y Mn, disminuyendo así su disponibilidad, para el caso del Ca se presenta un descenso en los sitios de BpM con respecto a los sitios de P ya que los contenidos promedio de Ca para los sitios de BpM son de $0.93 \text{ meq } 100\text{ml}^{-1}$ y de $1.43 \text{ meq } 100\text{ml}^{-1}$ para los sitios de P, esto debido a la actividad radicular del pino, es decir por la absorción de nutrientes para la producción de biomasa (Urrego, 1997). La CICE presenta un aumento en los sitios de BpM, ya los valores promedio de la CICE para los sitios de BpM es de $12.09 \text{ meq } 100\text{ml}^{-1}$ y de $8.01 \text{ meq } 100\text{ml}^{-1}$ para los sitios de P. Para el caso del K se identificaron diferencias poco significativas ($p < 0.35$) esta diferencia se puede observar con una tendencia a disminuir de los valores de K para los sitios de BpM con respecto a los sitios de P, ya que



los valores promedio de contenido de K para los dos casos es de 0.22 y 0.15 meq 100ml⁻¹ para el P y BpM respectivamente, esto se debe a la transferencia de K del suelo a través de un flujo de masa hacia las raíces de las plantas que como consecuencia directa causa el agotamiento de iones de K en la solución del suelo (Hinsinger, 2006) lo cual coincide con lo encontrado para el caso de los sitios de BpB. Para las variables restantes como son NT, NH₄, NO₃, P y Mg no se identificaron diferencias (Tablas 5 y 6).

A continuación se identificarán y evaluarán los efectos de la forestación con pino sobre las propiedades químicas de suelos de páramo correspondientes a la microcuenca de Soldados, en esta sección se describen las principales características químicas para los sitios de bosque de pino mediano (BpM) (Tabla 2); es así que se tiene que para el caso del pH se caracteriza por poseer valores mínimos y máximos de 4.80 y 5.30 respectivamente y un valor promedio de 4.98, la MO para los sitios de BpM es igual a 9.29% como mínimo y 31.74% como máximo con valores promedio de 18.14%; la SB esta en un rango que va desde los 15.72 a 25.40% y un valor promedio de 21.11%, el NT para los sitios de BpM se caracteriza por poseer valores mínimos de 0.38 % y valores máximos de 1.13% con valores promedio de 0.74%; el NH₄ esta entre los 115.90 y 219.80 ppm y un promedio de 156.50 ppm para los sitios de BpM, para el caso del NO₃ se encuentran valores mínimos de 1.30 ppm y valores máximos de 9.40 con un valor promedio de 5.90 ppm, la concentración de P en los sitios de BpM tiene valores mínimos de 4 ppm y máximos de 20.50 y un valor promedio de 9.60 ppm; el Fe posee valores mínimos y máximos de 73.20 y 283 respectivamente con un valor promedio de 225.83 ppm; el contenido de Mn para los sitios de BpM es de 6.40 ppm como mínimo y de 43.40 ppm como máximo con un valor promedio de 18.58 ppm, el K se caracteriza por poseer valores mínimos de 0.17 y máximos de 0.43 meq 100ml⁻¹ con valores promedio de 0.25; en

el caso de los contenidos de Ca para los sitios de BpM está entre los 1.14 y 3.24 meq 100ml⁻¹ con un valor promedio de 2.50 meq 100ml⁻¹; el contenido de Mg para los sitios de BpM oscila entre los 0.32 a 0.98 meq 100ml⁻¹ y un valor promedio de 0.66 meq 10ml⁻¹, los contenidos de Al+H para los sitios de BpM están entre los 2.30 a 6.20 meq 100ml⁻¹ con un valor promedio de 4.68 meq 10ml⁻¹, la CICE en los sitios de BpM se caracteriza por tener valores mínimos y máximos de 5.98 y 9.74 meq 100ml⁻¹ con valores promedio de 8.12 meq 100ml⁻¹.

Realizadas las pruebas de Mann-Whitney entre los dos grupos de muestras (BpM y P); se encontró que en el caso del Fe y Ca se presentan diferencias muy significativas ($p > 0.10$), esta diferencia en relación al contenido de Fe se puede observar en la Figura 5, con un descenso de su contenido en los suelos bajo BpM con relación a los sitios de P, ya que los valores promedio del contenido de Fe para estos sitios es de 225.83 ppm y 464.58 ppm respectivamente. La diferencia en cuanto al Ca se da debido a un descenso del mismo en los sitios de BpM en relación a los sitios de P inalterado, ya que los contenidos promedio de Ca para los sitios de P es de 3.95 meq 100ml⁻¹ y para los sitios de BpM es de 2.50 meq 100ml⁻¹, este descenso se debe a la actividad radicular es decir a una extracción de nutrientes (cationes básicos como Ca, K y Mg) por parte del pino para la producción de biomasa (Urrego, 1997); el Mg y CICE presentan diferencias significativas ($p < 0.25$) esta diferencia en el caso del Mg corresponde a un descenso en los sitios de BpM en relación a los sitios de P, ya que los valores promedio de Mg para estos sitios es de 0.66 y 1.01 meq 100ml⁻¹ respectivamente. La CICE presenta un descenso en los sitios de BpM en relación a los sitios de P, ya que estos poseen valores promedio de 8.12 y 9.34 meq 100ml⁻¹ respectivamente, este descenso se debe a la pérdida de bases o consumo de las mismas por parte del pino. La SB, NH₄ y K presentan diferencias poco significativas ($p < 0.35$) en el caso de la SB esta diferencia se debe a una tendencia al descenso en relación a los sitios de P ya que el valor

promedio para estos sitios es de 28.25 mientras que para los sitios de BpM es de 21.11 %, este descenso en el porcentaje de SB se debe a que el pH para los sitios de BpM es ácido y también como una consecuencia del consumo de bases por parte del pino y el descenso de la CICE anteriormente identificada; el NH_4 presenta una tendencia al descenso en los sitios de BpM (Figura 5) ya que estos poseen un valor promedio de 156.50 con relación a los sitios de P; cuyo contenido promedio es de 169.88 ppm; finalmente el K presenta una tendencia al descenso para los sitios de BpM y los sitios de P, debido a que los valores promedio de K para estos casos es de 0.25 y 0.33 meq 100ml^{-1} respectivamente, debido de igual manera a la actividad radicular y la absorción de cationes para la producción de biomasa (Urrego, 1997). Para el caso de las variables restantes como pH, MO, NT, NO_3 , P, Mn, Al+H no existen diferencias (Tablas 5 y 6).

5.3.2 Efecto de la quema sobre las propiedades químicas de los suelos bajo pajonal

Para analizar los impactos de la quema (Pq), sobre las propiedades químicas de los suelos de páramo, se utilizó la información recolectada en la microcuenca del río Zhurucay, es así que tenemos una descripción de los contenidos característicos de los principales parámetros químicos de los suelos bajo Pq; esto para tener una descripción básica y a partir de ellos determinar el estado de afectación de estos sitios con respecto a P o testigo inalterado (Tabla 2).

Es así que el pH se caracteriza por tener valores mínimos de 4.50 y máximos de 5.30 y valores promedio equivalentes a 4.96, en el caso de la MO se tienen valores entre los 26.78 a 46.20 y un promedio de 35.29% de MO, la SB con valores mínimos de 13.60 y máximos de 29.88% y un



promedio de 20.92%, el contenido de NT para los sitios de Pq se caracteriza por tener valores de entre 0.89 y 1.68 % y un valor promedio de 1.24%, para el caso del NH_4 se caracteriza por poseer valores mínimos de 95.70 y 213.30 como máximo con un promedio de 150.36 ppm; el NO_3 tiene valores entre 2.10 y 21.40 un valor promedio de 9.42 ppm, el P se caracteriza por estar entre 1.21 y 17 ppm y un promedio de 9.18, para el caso del Fe se tienen valores de entre 276.50 y 1532.50 ppm y un valor promedio de 580.24, el Mn con valores mínimos de 1.60 y máximos de 11.40 y un promedio de 3.90 ppm, para el caso del K se tienen valores de entre 0.05 y 0.30 y un promedio de 0.15 meq 100ml^{-1} ; el contenido de Ca para los sitios de Pq tiene valores mínimos de 1.02 y valores máximos de 2.26 y un valor promedio de 1.53 meq 100ml^{-1} , el contenido de Mg esta en un rango de entre 0.31 y 0.64 y un valor promedio de 0.43 meq 100ml^{-1} , para el caso del Al+H se tiene valores característicos de entre 4.60 y 10.12 y un valor promedio de 6.62 meq 100ml^{-1} , la CICE para los sitios de Pq se caracteriza por tener valores mínimos de 6.53 a 13.34 y un valor promedio de 8.75 meq 100ml^{-1} .

Luego de realizadas las pruebas estadísticas de Mann-Whitney se obtuvo como resultado en el caso del pH, MO y NO_3 una diferencia muy significativa con un valor de ($p < 0.10$) (Tablas 5 y 6), en el caso del pH esta diferencia se evidencia con un aumento del mismo en los sitios bajo Pq (4.96) con respecto a los sitios de P (4.72), este aumento se debe a la disponibilidad inmediata de cationes aportados por la ceniza (Mils, 2007); la diferencia en el caso de la MO se puede apreciar en la Figura 5 con un aumento en los sitios de Pq (35.29%), con respecto a los sitios de P (25.19), esto coincide con lo encontrado por (Díaz et al., 1982), (Sánchez, Mangas, Ortiz, & Bellot, 1994) y (Úbeda, 2001) quienes observaron un incremento de la materia orgánica en suelos que han sufrido quemas controladas; el NO_3 presenta un aumento de sus contenidos en los sitios de Pq (9.42 ppm) con respecto a los sitios de P (3.34 ppm) esto es debido



al aumento del pH. La SB, NT, Fe y Mn presentan diferencias significativas ($p < 0.25$), en el caso de la SB esta diferencia se puede apreciar con un descenso de los valores de SB de los sitios de Pq (20.92%) en relación a los sitios de P (36.98 %); el NT presenta un aumento en los sitios de Pq frente a los sitios de P, ya que el contenido promedio de NT de los sitios de Pq es de 1.24% en tanto que el valor promedio de NT para los sitios de P es de 1%, lo cual concuerda con lo encontrado por (Afif & Oliveira, 2006) quienes expresan que la concentración del nitrógeno total aumenta después de la quema en los horizontes superficiales; en el caso de los contenidos de Fe presenta un aumento del contenido de Fe en los sitios de Pq (580.24 ppm) en relación a los sitios de P (286.76 ppm); la diferencia en los contenidos de Mn se pueden observar en la Figura 5 con un descenso para los sitios de Pq (3.90 ppm) en relación a los sitios de P (10.80 ppm), esto puede ser atribuido también al antagonismo que existe entre el Fe – Mn antes mencionado para el caso del BpM que presenta también una disminución en los contenidos de Mn, ya que un exceso de Fe puede provocar una deficiencia de Mn, además en suelos ricos en MO, se forma un complejo estable entre ácidos húmicos y Mn, disminuyendo así su disponibilidad, para el caso del K y Mg se identificaron diferencias poco significativas ($p < 0.35$) (Tablas 5 y 6), esta diferencia en el caso del K se presenta como una tendencia a descender en los contenidos de K de los sitios de Pq ($0.15 \text{ meq } 100\text{ml}^{-1}$) con respecto a los sitios de P ($0.22 \text{ meq } 100\text{ml}^{-1}$) esto quizá se deba al efecto del fuego, ya que puede ser transformado y transferido al aire, convirtiéndose en contaminantes (I. Hernández & López, 1999), el Mg presenta una tendencia al descenso en los sitios de Pq ($0.43 \text{ meq } 100\text{ml}^{-1}$) con respecto a los sitios de P ($0.46 \text{ meq } 100\text{ml}^{-1}$), lo cual no concuerda con lo encontrado por (Fernández, Rodríguez, Lupi, Hernández, & Reis, 1999) quienes afirman que el Mg aumenta cuando los residuos son quemados, sobre todo en los primeros centímetros del suelo, esto quizá se deba a la baja intensidad de la quema en el caso de



los sitios estudiados en el presente trabajo. En el caso de los contenidos de NH_4 , P, Ca, Al+H y CICE no se presentan diferencias.

5.3.3 Efecto del pasto cultivado sobre las propiedades químicas de los suelos bajo pajonal

A continuación se describirán las principales características químicas de los sitios correspondientes a cultivos de pasto (Pa) (Tabla 2) y los efectos que causa sobre las propiedades químicas de los suelos de páramo, cabe recalcar que estos efectos son determinados en referencia a los sitios de pajonal natural o testigos inalterados. Es así que tenemos que las principales características químicas para los sitios de Pa se describen a continuación, para el caso del pH se tienen valores de entre 4.30 mínimo y 4.90 máximo y un valor promedio de 4.57, la MO se caracteriza por tener valores de 13.81 a 35.68% y un valor promedio de 27.30% para los sitios de Pa, la SB de encuentra en un rango que va desde el 11.83 % a 46.93 y un valor promedio de 30.42%, el NT tiene valores mínimos de 0.57 y máximos de 1.47 y un valor promedio de 1.06%; el NH_4 presenta valores mínimos de 97.90 ppm y máximos de 206,70 y un valor promedio de 146 ppm, el NO_3 posee valores de 1 a 17.50 y un promedio de 8.90 ppm, el P se encuentra presente en los sitios de pasto con valores que van desde los 2 ppm hasta los 18.60 y un valor promedio de 10.80 ppm; el contenido de Fe para los sitios de pasto se caracteriza por estar entre valores de 631.50 y 1572.50 ppm y un valor promedio de 1102 ppm, en el caso de el Mn presenta valores mínimos de 2.40 ppm a 34.40 ppm máximo con un valor promedio de 15.43 ppm; el K para los sitios de pasto se caracteriza por tener valores mínimos de 0.19 y máximos de 0.37 y valores promedio de 0.25 meq 100ml⁻¹, para el caso del Ca se tienen valores de entre 1.76 y 6.19 meq 100ml⁻¹ y un valor promedio de 3.56 meq 100ml⁻¹, el contenido de Mg para los sitios de pasto se encuentra en

un rango que va desde los 0.66 hasta 1.07 meq 100ml⁻¹ y un valor promedio de 0.87 meq 100ml⁻¹; el Al+H posee valores mínimos de 8.45 y máximos de 19.67, con un valor promedio de 12.20 meq 100ml⁻¹, la CICE se caracteriza por tener valores de entre 12.52 a 22.41 meq 100ml⁻¹ y un promedio de 16.96 meq 100ml⁻¹.

Llevadas a cabo las pruebas estadísticas para identificar diferencias entre grupos se pueden definir los efectos del Pa sobre los suelos de paramo; tenemos que los resultados encontrados en la comparación de los sitios de Pa frente a los sitios de P o testigo inalterado; para el caso de los contenidos de Ca, Mg, Al+H y CICE se identificaron diferencias muy significativas ($p < 0.10$) (Tablas 5 y 6), esta diferencias en el caso del Ca y Mg se puede observar en la Figura 5 con un aumento del contenido de Ca y Mg para los sitios de Pa (3.56 meq 100ml⁻¹) con respecto a los sitios de P (1.43 meq 100ml⁻¹). En el caso del Mg Pa (0.87 meq 100ml⁻¹) con respecto a los sitios de P natural (0.46 meq 100ml⁻¹) esto debido a que las heces de los animales contienen la mayoría del Ca y Mg, teóricamente, los mismos nutrientes pueden ser usados varias veces por las plantas y animales en un período corto (Sadeghian, Rivera, & Gómez, 2009).

En el caso del Al+H se evidencia un aumento en los sitios de Pa (12.20 meq 100ml⁻¹) con relación a los sitios de P (5.84 meq 100ml⁻¹), esto podría deberse a que los iones de Al se liberan de las estructuras alofánicas (Jhonson & Maynard, 2006), por una meteorización influenciada por la actividad de las plantas lo que hace que el valor de la acidez intercambiable aumente dando como resultado problemas de toxicidad para las plantas por el incremento de la actividad del Al³⁺ y del H⁺ (Robarge & Wayne, 2008). La diferencia identificada en la CICE se debe a un aumento en los sitios de Pa (16.96 meq 100ml⁻¹) con relación a los sitios de P (8.01 meq 100ml⁻¹), este efecto puede ser atribuido al aumento de la actividad de la materia orgánica que se libera de los

complejos órgano-metálicos, además también se vuelven más propensos a descomponerse y perderse a largo plazo (R. Hofstede, Groenendijk, Coppus, Fehse, & Sevink, 2002). Para el NO_3 y Fe se identificaron diferencias poco significativas ($p < 0.35$), en el caso del NO_3 esta diferencia se debe a una tendencia al aumento del NO_3 de los sitios de Pa (8.90 ppm) en comparación a los sitios de P (3.34 ppm); el Fe presenta una tendencia al aumento de sus valores en los sitios de Pa (1102 ppm) con relación a los sitios de P (286.76 ppm), como se puede apreciar en la Figura 5, los valores correspondientes a Fe en el caso de los sitios de Pa se presentan tres veces mas elevados que en los sitios de P, esta elevada acumulación podría llegar a niveles de toxicidad y se encuentra en función del descenso del pH lo cual aumentaría su solubilidad (Romheld & Miroslav, 2007). Para el caso de las variables restantes como son pH, MO, SB, NT, NH_4 , P, Mn y K no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (Tablas 5 y 6).

5.3.4 Efectos del pastoreo extensivo sobre las propiedades químicas de los suelos bajo pajonal

En esta sección se describirán los efectos del pastoreo sobre las propiedades químicas de los suelos, sobre pajonal natural (Ppa) ya que en las microcuencas de los ríos Zhurucay y Soldados existe pastoreo extensivo en los sitios de P, esta actividad se da principalmente en los fondos de valle y en sitios con una topografía no muy pronunciada. A continuación se describirán las principales propiedades químicas de los sitios de Ppa de la microcuenca de Zhurucay (Tabla 2).

Los valores de pH correspondientes a los sitios de Ppa están entre los 4.30 como mínimo y 4.80 como máximo con un promedio de 4.62; los contenidos de MO para los sitios de Ppa están entre el 22.24% y 38% y

un valor promedio de 28,90%; la SB está entre los 19.28% y 60.21% y un promedio de 42.29%, el NT se caracteriza por tener valores mínimos de 0.58 y 1.64% con un valor promedio de 1.01%; en el caso del contenido de NH_4 se tienen valores desde los 90.70 ppm hasta 133.40 y un valor promedio de 111.26 ppm; los NO_3 para los sitios de Ppa están entre los 0.10 ppm y 6.10 y un valor promedio de 2.02 ppm; en el caso del P para estos sitios se caracteriza por tener valores de 3.70 a 10.20 ppm y un valor promedio de 7.60 ppm; el contenido de Fe se caracteriza por valores comprendidos entre los 48.80 y 1187.50 ppm con un valor promedio de 414.36 ppm, el contenido de Mn se caracteriza por poseer valores mínimos de 1.20 y valores máximos de 8.30 con un valor promedio equivalente a 3.18 ppm; el K para el caso de los sitios de Ppa tiene valores característicos de 0.06 a 0.35 meq 100ml^{-1} y un valor promedio de 0.18 meq 100ml^{-1} ; el contenido de Ca para los sitios de Ppa oscila entre los 0.79 a 2.02 meq 100ml^{-1} y un valor promedio de 1.35 meq 100ml^{-1} , el Mg presenta valores mínimos de 0.28 y máximos de 0.63 meq 100ml^{-1} con valores promedio de 0.39 meq 100ml^{-1} ; el Al+H para los sitios de Ppa posee valores mínimos de 3 a 7.36 meq 100ml^{-1} y valores promedio de 4.55 meq 100ml^{-1} ; la CICE tiene valores que van desde los 4.98 a 10.39 meq 100ml^{-1} y un valor promedio de 6.52 meq 100ml^{-1} .

Una vez llevadas a cabo las pruebas estadísticas para determinar diferencias entre grupos de datos en este caso los sitios de Ppa frente a los sitios de P; se encontró que para el caso de los contenidos de Mn y Mg se encontraron diferencias significativas ($p < 0.25$), para el caso del contenido de Mn se observa un descenso en la concentración en los sitios de Ppa, de 10.80 a 3.18 ppm en los sitios de P y Ppa respectivamente; esto puede deberse a la competencia que existe entre el Fe y Mn, ya que el contenido de Fe para los sitios de Ppa presenta una leve tendencia a incrementarse esto lo revelan los datos ya que a pesar de no ser una diferencia estadísticamente significativa es fácilmente apreciable, al igual

que los contenidos de MO que se incrementan pero en pequeñas cantidades; y por otro lado el Mg presenta un descenso en su concentración en los sitios de Ppa en relación a los sitios de P; en cuanto al NH_4 y la CICE se identificó una diferencia poco significativa ($p < 0.35$) lo cual se puede apreciar en la Figura 5 con una tendencia al descenso de la concentración de NH_4 en los sitios de Ppa con referencia a los sitios de P; de la misma manera la CICE en los sitios de Ppa presenta una tendencia al descenso con respecto a los sitios de P, esto debido a que la CICE esta en función del pH del suelo, cuando el suelo pierde sus cationes, la capacidad de retención de los mismos también disminuye (Borja, Iñiguez, Crespo, Cisneros, & Cisneros, 2008). Para el caso de las variables restantes pH, MO, SB, NT, NO_3 , P, Fe, K, Ca, Al+H no se identificaron diferencias estadísticamente significativas (Tablas 5 y 6).

Al igual que en la microcuenca del río Zhurucay en la de Soldados se lleva a cabo un pastoreo extensivo en las zonas de pajonal, es así que se ha recolectado información de los sitios de pajonal pastoreado, cuyas características químicas se describen a continuación (Tabla 2), el valor del pH para estos sitios se caracteriza por estar en un rango que va desde 5.10 hasta 5.20 y un promedio de 5.15; la MO esta en un rango que va desde el 15.94% hasta 21.77% y un valor promedio de 18.86%, la SB se caracteriza por poseer valores que van desde los 19.79 a 27.88% y un promedio de 23.84%; el contenido de NT para los sitios de Ppa está entre 0.83 y 1.11% y con un promedio de 0.97%, en el caso del NH_4 los valores mínimos son de 177.60 ppm, valores máximos de 226.30 ppm y un valor promedio de 201.95 ppm; el NO_3 se encuentran en un rango que va desde 1.30 ppm hasta 4.30 ppm y poseen un valor promedio de 2.80 ppm; el contenido de P de los sitios de Ppa es de 18 como mínimo y de 20.20 máximo con un valor promedio de 19.10 ppm; el contenido de Fe se caracteriza por poseer valores característicos de 119.50 ppm como mínimo y 153.10 ppm como máximo y un valor promedio de 136.30, el Mn

se encuentra presente con valores que van desde los 29.60 ppm hasta 129 y un valor promedio de 79.30 ppm para los sitios de Ppa; los contenidos de K se encuentran entre los 0.28 meq 100ml⁻¹ y 0.73 y con valores promedio de 0.51 meq 100ml⁻¹, el Ca se caracteriza por poseer valores mínimos y máximos de 3.65 y 6.20 meq 100ml⁻¹ respectivamente y un valor promedio de 4.93 meq 100ml⁻¹; el Mg en los sitios de Ppa se caracteriza por estar en un rango que va desde los 0.77 meq 100ml⁻¹ hasta 1 y posee un valor promedio de 0.89 meq 100ml⁻¹; el contenido de Al+H para los sitios de Ppa está entre los 2.20 y 4.10 meq 100ml⁻¹ con un valor promedio de 3.15 meq 100ml⁻¹; la CICE está en un rango que va desde 9.48 meq 100ml⁻¹ hasta los 9.50 y con un valor promedio de 9.49 meq 100ml⁻¹.

Luego de realizadas las pruebas estadísticas para encontrar diferencias entre los sitios de Ppa y P, se determinó que para el caso del Fe se presentan diferencias significativas ($p < 0.25$) (Tablas 5 y 6) esta diferencia se debe a un descenso con relación a los sitios de P (464.58 ppm) con relación a los sitios de Ppa (136.30 ppm); en relación a las variables como NH₄, P y Mn se identificaron diferencias poco significativas ($p < 0.35$), esta diferencia en el caso del NH₄ se puede observar en la Figura 5 con una tendencia al aumento en los sitios de Ppa (201.95 ppm) y para los sitios de P (169.88 ppm); el P presenta una tendencia al aumento en los sitios de Ppa (19.10 ppm), esto con relación a los sitios de P (9.20 ppm), este incremento en el contenido de P en los sitios de Ppa se debe a un aporte en las heces del ganado las cuales son ricas en P y aportan importantes cantidades de este elemento una parte orgánica (poco asimilable) y otra parte inorgánica (bastante disponible de forma inmediata) (Sadeghian et al., 2009) ; en el caso del Mn se puede apreciar una tendencia al aumento en los sitios de Ppa (79.30 ppm) en relación a los sitios de P (17.18 ppm). Para el caso de las variables restantes como pH, MO, SB, NO₃, K, Ca, Mg, Al+H y CICE no se identificaron diferencias (Tablas 5 y 6).

5.3.5 Efecto de las prácticas agrícolas sobre las propiedades químicas de los suelos bajo bosque

En la Tabla 4 se pueden observar las propiedades químicas de los suelos bajo cultivos (C) en Aguarongo en donde se aprecia un pH levemente ácido de 4 a 5.6, el contenido de MO es alto y variable entre 3.92 como mínimo y 30.09% como máximo, la SB está entre los 23.49 hasta 92,78%, el NT con valores de entre 0.26 a 1.04%, el N en su forma NH_4 con valores de entre 12.50 a 157.10 ppm, y en su forma NO_3 con contenidos mínimos de 6.90 ppm y máximos de 107.30 ppm, el P con valores de entre 1.60 a 18 ppm, el Fe se caracteriza por poseer valores que van desde los 50.90 ppm hasta los 967.50 ppm, el Mn con valores de entre 2.10 a 14.70 ppm, el K presenta valores de entre 0.08 a 1.29 meq 100ml^{-1} , el Ca se caracteriza por poseer valores de entre 1 a 9.63 meq 100ml^{-1} , para el caso del Mg, posee valores de entre 0.32 a 3.15 meq 100ml^{-1} , el Al+H con valores mínimos y máximos de 0.90 a 9.25 meq 100ml^{-1} respectivamente y finalmente la CICE que posee valores de entre 5.61 a 15.24 meq 100ml^{-1} .

Se realizó la prueba de Mann-Whitney para encontrar diferencias entre los suelos bajo bosques (Bm) y cultivos (C) de Aguarongo, se identificó que el nitrógeno en su forma NO_3 , el Mn, Ca y la CICE presentan diferencias significativas ($p < 0.25$), para el caso del NO_3 observamos un aumento de su contenido en los suelos bajo cultivos, evidenciando lo dicho por (Arp & Krause, 2006) quien explica que los suelos de bosque comúnmente se ven limitados por una baja disponibilidad de nitrógeno resultado de la lenta rotación de la MO, sin embargo al aumentar la profundidad del horizonte superior resultado de labores agrícolas existe mayor disponibilidad de este elemento, a más de la incorporación de abonos nitrogenados. El contenido de Mn desciende en los suelos bajo cultivos (Figura 6), lo cual es común en suelos con altos contenidos de materia

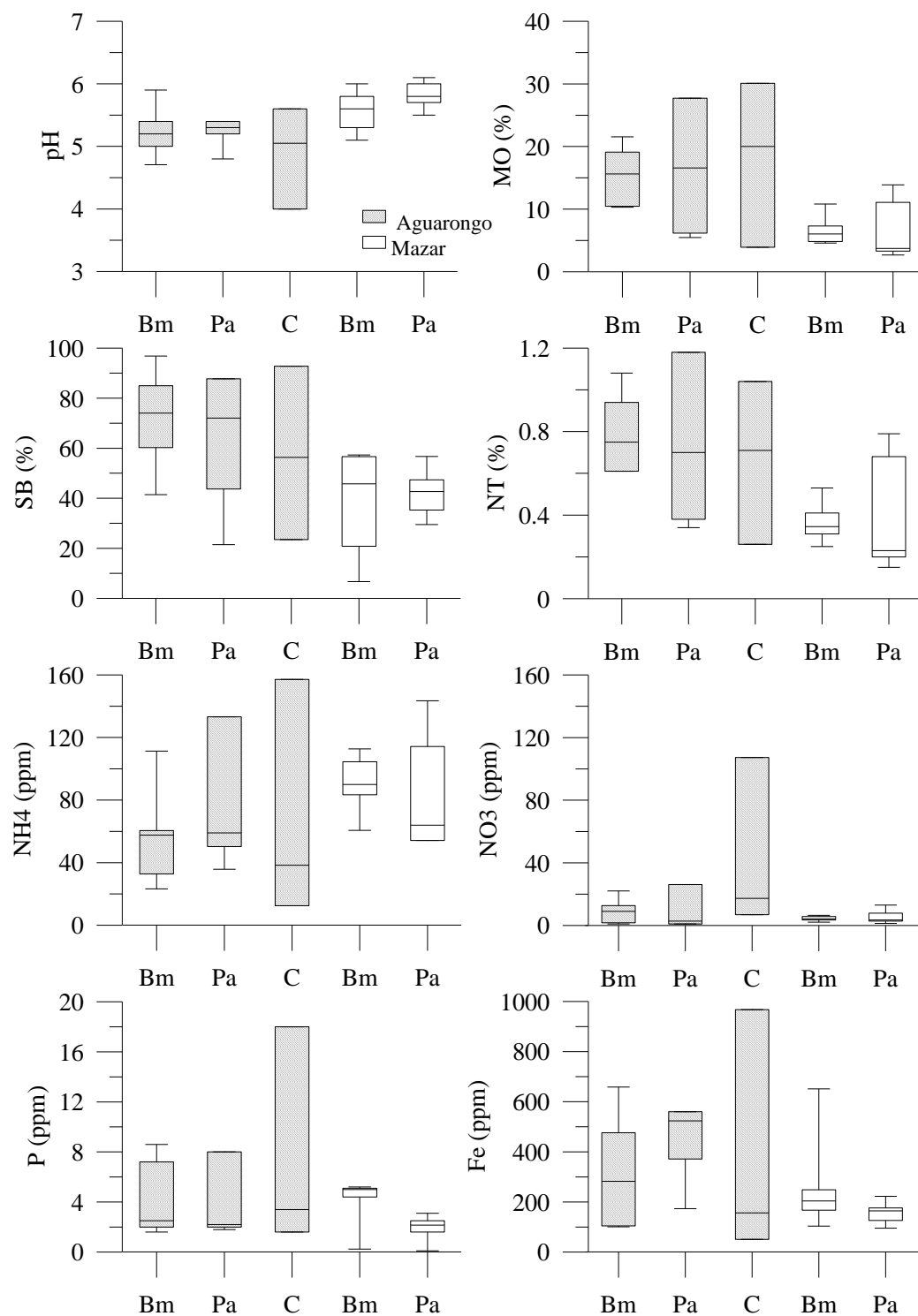
orgánica (más del 6%), en donde disminuye la cantidad de Mn intercambiable debido a la formación de la materia orgánica y a los complejos de Mn, otro factor que influye en la disminución de este elemento son los microorganismos del suelo que parecen reducir la disponibilidad del Mn por oxidación a formas menos disponibles llegando a competir con los cultivos por el Mn disponible (Shulte & Kelling, 1999).

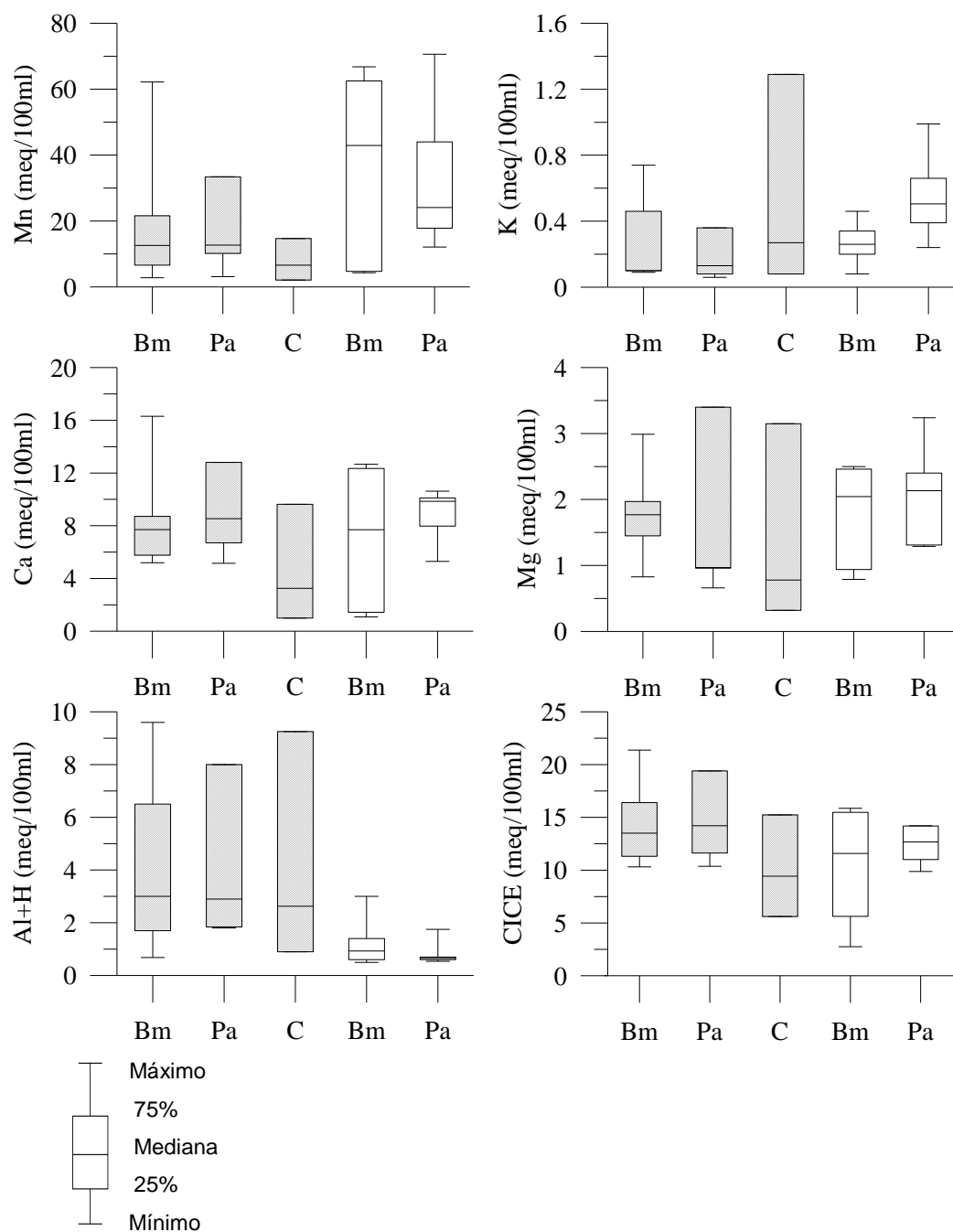
De igual manera para el caso del Ca se observa un descenso en los suelos bajo cultivos (Figura 6), en donde la mayor pérdida de este elemento se da por el clima húmedo, por procesos de lixiviación y extracción por la producción agrícola (Rengel, 2006); y en el caso de la CICE se observa un descenso para los suelos bajo C (Figura 6), para el caso del Mg presenta una diferencia poco significativa ($p < 0.35$), la cual se observa como una tendencia al descenso en los suelos bajo cultivos, para las restantes propiedades como pH, MO, SB, NT, NH_4 , P, Fe, K y Al+H no se encontraron diferencias ($p \geq 0.35$).

5.3.6 Efectos del pastoreo extensivo sobre las propiedades químicas de los suelos bajo bosque

Para identificar el impacto del pastoreo sobre las propiedades químicas de los suelos bajo bosques de Aguarongo y Mazar se utilizó la información recolectada para estos sitios de estudio.

Figura 6. Boxplots bosque (Mazar y Aguarongo); propiedades químicas de los sitios de estudio.





Es así que en la Tabla 4 se encuentran descritas las propiedades químicas de los sitios con Pa correspondientes a Aguarongo los mismos que poseen un pH débilmente ácido que se encuentran entre 4.80 a 5.40 y en promedio 5.20, el contenido de MO, SB y NT se encuentran entre 5.47 a 27.72 %, 21.52 a 87.74 % y 0.34 a 1.18 % respectivamente, los contenidos de nitrógeno en su forma a amoniacal (NH_4) y nitrato (NO_3) van de 35.80 a 133.20 y 1 a 26.20 ppm respectivamente, el contenido de P se caracteriza por poseer valores de entre 1.80 a 8 ppm, los contenidos Fe y Al+H responsables de la acidez en el suelo están en rangos de 173.30 a 560.20 ppm y 1.80 a 8 meq 100ml^{-1} respectivamente. Los cationes básicos K, Ca y Mg poseen contenidos mínimos y máximos de 0.06 a 0.36, 5.15 a 12.81 y 0.66 a 3.40 meq 100ml^{-1} respectivamente, finalmente la CICE con un contenido de 10.37 a 19.40 meq 100ml^{-1} .

Al realizar la prueba de Mann-Whitney para encontrar diferencias entre los suelos bajo Pa y Bm (Tablas 5 y 6) se observa que en los suelos de Aguarongo existen valores poco significativos ($p < 0.35$) para Fe y Mg. En la Figura 6 se observó que el contenido de Fe en los suelos bajo pasto presenta una tendencia al aumento que según lo explicado por (Arp & Krause, 2006) este caso se presenta en suelos que son antiguos y degradados o en donde la productividad es a menudo limitada por algunos macro y micro nutrientes lo que provoca que a menudo estos suelos acumulen altas cantidades de Fe sesquióxido; en cuanto al Mg registro un descenso de su contenido en los suelos bajo pasto, lo que se puede atribuir a la presencia de recubrimientos sobre la superficie del mineral, que actúa como una barrera semipermeable la cual trae como consecuencia, una reducción de la tasa de liberación de Mg a la solución del suelo (Bolan, Arulmozhiselvan, & Paramasivan, 2006). Para los elementos restantes no se identificaron diferencias estadísticamente significativas.

En la Tabla 4 se encuentran descritas las propiedades químicas de los sitios de pastoreo extensivo correspondientes a Mazar los mismos que poseen un pH débilmente ácido que se encuentran entre 5.50 a 6.10 y en promedio 5.82, el contenido de MO, SB y NT se encuentran entre 2.68 a 13.89 %, 29.52 a 56.72 % y 0.15 a 0.79 % respectivamente, los contenidos de nitrógeno en su forma a amoniacal (NH_4) y nitrato (NO_3) van de 54.20 a 143.50 y 1.3 a 13 ppm respectivamente, el contenido de P se caracteriza por poseer valores de entre 0.10 a 3.10 ppm, los contenidos Fe y Al+H responsables de la acidez en el suelo están en rangos de 95.20 a 222.20 ppm y 0.54 a 1.75 meq 100ml^{-1} respectivamente. Los cationes básicos K, Ca y Mg poseen contenidos mínimos y máximos de 0.24 a 0.99, 5.29 a 10,62 y 1.29 a 3.24 meq 100ml^{-1} respectivamente, finalmente se encuentra la CICE con un contenido de 9.88 a 14.21 meq 100ml^{-1} .

Al realizar la prueba de Mann-Whitney para encontrar diferencias entre los sitios de Pa y Bm (Tablas 5 y 6) se observa que en los suelos de Mazar existen diferencias muy significativas ($p < 0.10$) para el caso de los contenidos de P y K, (Tablas 5 y 6), para el caso del P su disponibilidad para los sitios bajo Pa es inferior a la de los sitios bajo Bm, ya que en el caso del Pa los valores promedio de P son de 1.93 ppm y para los sitios de Bm de 4.16 ppm, en un trabajo realizado por (Chacón, Gagnon, & Paré, 2009a) se encontraron tendencias similares en donde se explica que pastos adyacentes a bosques nativos registran una disminución de las concentraciones de P, lo que principalmente se debe al cambio de cobertura de Bm a Pa, ocasionando grandes pérdidas anuales por la erosión del suelo, perdidas por escurrimiento y remoción de la biomasa. En cuanto al contenido de K en los suelos bajo Pa este es superior al registrado a los suelos bajo Bm; ya que los valores promedio del contenido de K son de 0.55 ppm para el caso de Pa y de 0.27 ppm para los sitios de Bm, este descenso registrado en los sitios de Bm se debe a

la transferencia de K del suelo a través de un flujo de masa hacia las raíces de las plantas, el mismo que aporta alrededor del 1 al 20% de la demanda de la planta, que trae como consecuencia directa el agotamiento de iones de K en la solución del suelo (Hinsinger, 2006), también se identificó una diferencia significativa ($p < 0.25$) para el pH y Fe; para el caso del pH se identificó una mayor acidez en los suelo bajo Bm, atribuyendo esta acidez a posibles extracciones de bases por parte del bosque y por el lavado de bases lo que se ve reflejado en la disminución del porcentaje de SB; para el Fe se aprecia un mayor contenido en los suelos bajo Bm, lo que nos indica que el descenso del pH aumento la solubilidad del mismo (Römheld & Nikolic, 2007). Para el caso de las variables restantes como la MO, SB, NT, NH_4 , NO_3 , Mn, Ca, Mg, Al+H y CICE no se identificaron diferencias, sin embargo es importante evidenciar que en el caso del contenido de MO a pesar de que no existe una diferencia estadísticamente significativa se observa una leve tendencia al descenso en los suelos bajo Pa, lo que concordaría con lo explicado anteriormente sobre el cambio de las propiedades de la MO al existir una alteración como el cambio de la cobertura vegetal natural.

6 Conclusiones.

La información recolectada de los principales suelos encontrados en los diferentes sitios de estudio en el sur del Ecuador fue usada para investigar los impactos de las prácticas agropecuarias y forestales más importantes sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos de páramo húmedo y bosques montanos. Dos sitios de estudio en bosques, Mazar y Aguarongo, fueron seleccionados localizados en la provincia de Cañar y Azuay respectivamente. Mientras, Zhuruca y Soldados ubicados en la provincia del Azuay se utilizaron para investigar los impactos antropogénicos sobre los suelos en los ecosistemas de páramo. Los sitios



fueron monitoreados de manera intensiva, donde los suelos bajo los principales usos de la tierra fueron caracterizados.

En primer lugar antes de analizar los impactos sobre los suelos, y luego de un exhaustivo control de calidad, se realizó una comparación de los suelos bajo condiciones y coberturas naturales no intervenidas. Luego del análisis estadístico los resultados revelaron que los suelos de Aguarongo y Mazar así como también entre Zhurucay y Soldados tenían propiedades físicas y químicas diferentes. Esto demuestra la variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas del mismo tipo de suelo en similares ecosistemas. En este sentido no fue posible unir las bases de datos y el análisis de los impactos de cambio de uso de la tierra se realizó de manera individual en cada observatorio. Para lo cual se compararon los diferentes sitios de muestreo (que han tenido intervención) levantados en cada observatorio con los sitios inalterados del mismo observatorio.

El análisis no paramétrico de Mann-Whitney fue utilizado para encontrar las diferencias entre las propiedades de los suelos bajo diferentes prácticas agropecuarias y forestales en relación a suelos no alterados bajo cobertura natural. El análisis se realizó para los horizontes superficiales. Diferentes niveles de significancia fueron usados para llegar a conclusiones sobre el impacto de dichas prácticas. Gráficos de box-plots fueron usados para analizar si los impactos sobre los suelos aumentaban o disminuían las cantidades y concentraciones de las diferentes propiedades estudiadas.

Los resultados revelaron que para el caso de los ecosistemas de bosque, los cultivos de maíz-frejol y papas causan mayor impacto tanto en las propiedades físicas como químicas que el pastoreo. Esto se debe principalmente a que el suelo pierde su estructura, aumenta el drenaje y se adiciona abonos como la gallinaza, entre las más importantes. Por otra



parte la siembra de pastos en Aguarongo es menos impactante para los suelos de la zona. Esto puede deberse a una baja intervención de los comuneros y a la poca carga animal empleada. Para corroborar los resultados encontrados se sugiere seguir el levantamiento de información en los mismos observatorios y en otros observatorios. Para el caso de Mazar las propiedades de los suelos presentaron un mayor impacto que para el caso de Aguarongo, debido a que las prácticas de los dueños de los terrenos son más agresivas o intensivas. Aunque parecería que la práctica de menor influencia es la de pastoreo, se pudo observar que el impacto más significativo es la pérdida total del horizonte O que tiene propiedades muy importantes para la regulación del agua y los nutrientes.

Adicionalmente las propiedades de regulación del agua en el suelo fueron seriamente afectadas, registrando una disminución significativa de la K_{sat} y el punto de saturación, lo cual tiene un efecto directo sobre el movimiento del agua en el suelo, el almacenamiento de agua y regulación.

En cuanto a los ecosistemas de páramo, más concretamente en el caso de la microcuenca del río Zhurucay se tiene que la práctica que causa mayor impacto es la de forestación con pino, tanto sobre las propiedades físicas como químicas de estos suelos. El BpB tiene mayor impacto sobre las propiedades hidrofísicas de los suelos ya que se produce un incremento de la DA y la K_{sat} debido a un incremento de sus valores por el secamiento y agrietamiento del suelo y los flujos preferenciales resultantes de las raíces de los árboles. Por otro lado el BpM tiene mayor influencia sobre las propiedades químicas de los suelos produciendo una acidificación de los mismos. Otra de las prácticas que causa impacto sobre las propiedades hidrofísicas de los suelos es el pasto cultivado y el pastoreo sobre pajonal debido al pisoteo de los animales que compactan

el suelo elevando así los valores de la DA y reduciendo la capacidad de retención de agua del suelo.

El efecto de las quemas sobre los suelos bajo pajonal se vislumbra principalmente en las propiedades químicas de los mismos, no así en las propiedades hidrofísicas; ésto debido a que las quemas se las realizan de manera controlada de tal forma que el suelo no se calienta de manera que llegue a alterar sus propiedades de forma irreversible. Cabe mencionar que la práctica menos invasiva corresponde al pastoreo extensivo debido a la menor influencia sobre las propiedades tanto físicas como químicas y la magnitud de la misma debido a la baja carga animal.

Para el caso del observatorio de Soldados se evidencia un aumento de la K_{sat} para los suelos bajo bosque de pino medio y pastoreo sobre pajonal. En cuanto a las propiedades químicas el bosque de pino medio causa un decremento de las concentraciones de los principales elementos, esto quizás se deba a la ausencia de un manejo adecuado de las plantaciones de pino y la nula adición de materia orgánica para reponer los nutrientes consumidos por los árboles.

7 Recomendaciones

- Es recomendable seguir levantando información en más sitios de muestreo en cada observatorio para de esta manera ampliar la base de datos con el fin de poder realizar análisis estadísticos más confiables como los análisis multivariados que permitan llegar a conclusiones más robustas sobre los impactos de las prácticas humanas en los ecosistemas estudiados.
- Los resultados obtenidos en la investigación mostraron diferencias significativas entre los suelos de los sitios de estudio de páramo y

los sitios de bosque bajo condiciones naturales (por ejemplo a pesar de que los sitios de Soldados y Zhurucay se encuentran cercanos, las propiedades de sus suelos son diferentes). En este sentido es recomendable ampliar la investigación a otros sitios de estudio en otras cuencas hidrográficas para poder conocer la variabilidad natural de las propiedades de los suelos y relacionarlas con su latitud, altura, y otras variables que puedan explicar las diferencias encontradas.

- Debido a que los resultados encontrados en el presente estudio revelaron que los sitios de pino poseen diferentes impactos sobre las propiedades físico químicas de los suelos de páramo dependiendo de su tamaño o desarrollo se recomienda llevar a cabo un levantamiento de información en sitios de pinos tomando en cuenta diferentes factores como distintas gradientes altitudinales y posiciones fisiográficas, además de variables como la edad, altura, diámetro a la altura del pecho de los pinos para así analizar si estas variables causan diferentes impactos sobre las propiedades físico químicas de los suelos de páramo.
- Se recomienda realizar un análisis de los impactos de la deforestación y siembra de pastos con diferentes tratamientos (con manejo y sin manejo) para conocer mejor las alteraciones causadas por estas prácticas sobre las propiedades físico químicas de los suelos de bosques.
- De la misma manera se recomienda realizar un análisis de los cultivos bajo diferentes condiciones de manejo con un especial enfoque sobre las prácticas agroecológicas para determinar si las mismas producen un diferente impacto sobre las propiedades tanto físicas como químicas de los suelos y así lograr sustentar



científicamente las prácticas agroecológicas de ser el caso. Cabe recalcar que esta propuesta no tiene el objetivo de incentivar la eliminación del bosque para instaurar cultivos sino, que los sitios que ya han sido deforestados sean utilizados para la implementación de un manejo con un enfoque agroecológico ya que así se reduciría el impacto producido por la tala y la transformación de zonas de bosque en áreas de cultivos más acordes con el medio donde se desarrollan.



8 Bibliografía

- Afif, E., & Oliveira, J. A. (2006). Efectos del fuego prescrito sobre matorral en las propiedades del suelo. *Departamento de Biología de Organismos y Sistemas. Escuela Universitaria de Ingenierías Técnicas. Universidad de Oviedo. Gonzalo Gutiérrez de Quirós, s/n. 33600 Mieres. España, 15 (3), 262 – 270 PP.*
- Arp, P., & Krause, H. (2006a). *Encyclopedia of Soil Science*. (Rattan Lal., Vols. 1-2, Vol. 1). United State: Taylor and Francis.
- Arp, P., & Krause, H. (2006b). *Encyclopedia of Soil Science*. (Rattan Lal., Vols. 1-2, Vol. 1). United State: Taylor and Francis.
- Bach, K., Schawe, M., Beck, S., Gerold, G., Gradstein, S. ., & Morales, M. (2003a). Vegetación, suelos y clima en los diferentes pisos altitudinales de un bosque montano de Yungas, Bolivia: Primeros resultados. *Ecología en Bolivia, 38(1), 3–14.*
- Bach, K., Schawe, M., Beck, S., Gerold, G., Gradstein, S. ., & Morales, M. (2003b). Vegetación, suelos y clima en los diferentes pisos altitudinales de un bosque montano de Yungas, Bolivia: Primeros resultados. *Ecología en Bolivia, 38(1), 3–14.*
- Balslev, H., & Luteyn, J. L. (1992). Páramo: an Andean ecosystem under human influence. *Academic press, London., 1–14.*



Bolan, N., Arulmozhiselvan, K., & Paramasivan, P. (2006). Magnesium. In *Encyclopedia of Soil Science* (Rattan Lal., Vols. 1-2, Vol. 2, p. 1923). United State: Taylor and Francis.

Borja, P., Iñiguez, V., Crespo, P., Cisneros, P., & Cisneros, F. (2008a). Caracterización Hidraulica de Andosoles e Histosoles del Austro del Ecuador. Presented at the XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Quito.

Borja, P., Iñiguez, V., Crespo, P., Cisneros, P., & Cisneros, F. (2008b). Características físico químicas de Histosoles y Andosoles de los páramos de Quimsacocha, Ecuador.

Bruijnzeel, L. A. (2004). Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104, 185–228.

Bruijnzeel, L. A. (2005). Tropical montane cloud forest: a unique hydrological case. In M. Bonell & L. A. Bruijnzeel (Eds.), *Forests, Water and People in the Humid Tropics* (pp. 462–484). Cambridge University Press, Cambridge.

Bruijnzeel, L. A., Kappelle, M., Mulligan, M., & Scatena, F. N. (2010). Tropical montane cloud forests: state of knowledge and sustainability perspectives in a changing world. In *Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management*. Cambridge University Press.



- Bruijnzeel, L. A., & Proctor, J. (1995). Hydrology and biogeochemistry of tropical montane cloud forests: What do we really know? In L. S. Hamilton, J. O. Juvik, & F. N. Scatena (Eds.), *Tropical montane cloud forests* (pp. 38–78). Springer-Verlag, New York.
- Bruijnzeel, L. A., & Veneklaas, E. J. (1998). Climatic conditions and tropical montane forest production: the fog has not lifted yet. *Ecology*, 79, 3–9.
- Bussmann, R. W. (2005). Bosques andinos del sur de Ecuador, clasificación, regeneración y uso. *Rev. peru biol*, 12(2), 203–216.
- Buytaert, W., Célleri, R., Bièvre, B. D., Hofstede, R., Cisneros, F., Wyseure, G., & Deckers, J. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79, 53–72.
- Buytaert, Wouter. (2004a). *The properties of the soils of the south Ecuadorian páramo and the impact of land use changes on their hydrology*. Katholieke Universiteit Leuven, Leuven.
- Buytaert, Wouter. (2004b). *The properties of the soils of the south Ecuadorian páramo and the impact of land use changes on their hydrology*. Faculty of Agricultural and Applied Biological Sciences, Katholieke Universiteit Leuven.
- Buytaert, Wouter. (2004c). The properties of the soils of the south ecuadorian páramo and the impact of land use changes on their hydrology.



- Chacón, G., Gagnon, D., & Paré, D. (2009a). Comparison of soil properties of native forest, *Pinus patula* plantations and adjacent pastures in the Andean highlands of southern Ecuador: land use history or recent vegetation effects?, 25(Soil Use and Management), 427–433.
- Chacón, G., Gagnon, D., & Paré, D. (2009b, December). Comparison of soil properties of native forest, *Pinus patula* plantations and adjacent pastures in the Andean highlands of southern Ecuador: land use history or recent vegetation effects?, 25(Soil Use and Management), 427–433.
- Comerford, N. . (2006). *Encyclopedia of Soil Science* (Rattan Lal., Vols. 1-2, Vol. 1). United State: Taylor and Francis.
- Comunidad Andina. (2009). *Atlas de los Andes del Norte y Centro*. Lima, Perú.
- Cuesta, F., Peralvo, M., & Valarezo, N. (2009a). *Los bosques montanos de los Andes tropicales. Una evaluación regional de su estado de conservación y de su vulnerabilidad a efectos del cambio climático. Serie Investigación y Sistematización #5*. Programa Regional ECOBONA – INTERCOOPERATION. Quito.
- Cuesta, F., Peralvo, M., & Valarezo, N. (2009b). *Los bosques montanos de los Andes tropicales. Una evaluación regional de su estado de conservación y de su vulnerabilidad a efectos del cambio climático.*



Serie Investigación y Sistematización #5. Programa Regional

ECOBONA – INTERCOOPERATION. Quito.

De Bièvre, B., Iñiguez, V., & Buytaert, W. (2006). Hidrología del Páramo:

Importancia, propiedades y vulnerabilidad. *Hydrology and Water Resources*.

Díaz, V. F., Gil, F., Cabaneiro, A., Carballas, T., Leiros de la Peña, M., &

Villar, M. (1982). Anales de Edafología y Agrobiología. *Efectos erosivos de los incendios forestales en suelos de Galicia.*, 34, 627 – 638.

Díaz-Granados, M., Navarrete, J., & Suárez, T. (2005). Páramos:

Hidrosistemas Sensibles.

Dormaar, J., Smoliak, S., & Willms, W. (1989). Vegetation and soil

responses to short-duration grazing on fescue grasslands, 42(Range Manage), 252–256.

Dorothea, F., & Manfred, F. (1997). Impactos de las plantaciones de pino

oregón sobre la vegetación y el suelo en la zona centro-sur de Chile, 191 – 211.

FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. Retrieved from

<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/a0541s/a0541s00.pdf>

Fernández, R., Rodríguez, F., Lupi, A., Hernández, A., & Reis, H. (1999).

Efectos de diferentes practicas de preparación del terreno y fertilización sobre el crecimiento inicial del pinus spp.



- Foster, P. (2001). The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews*, 55, 73–106.
- Gavilanes, M., & Landi, E. (2012). *Efectos del cambio de uso de la tierra sobre las propiedades físicas y químicas en la microcuenca del río Zhuruca*. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Hartsig, J. (2011). "The Effects of Land-Use Change on the Hydrological Properties of Andisols in the Ecuadorian Páramo". Retrieved from http://trace.tennessee.edu/utk_gradthes/978/
- Havlin, L. J., Beaton, D. J., Tisdale, L. S., & Nelson, L. W. (1999). Soil Fertility and Fertilizers, 6a Ed.
- Hernández, F., Triana, F., & Daza, M. (2009). Efecto de actividades agropecuarias en la capacidad de infiltración de los suelos de páramo del Sumapaz. *Redalyc. Sistema de información científica*.
- Hernández, I., & López, D. (1999). Burning effects on P cycling in a Trachypogon savanna. *Ecotropicos.*, 12 (1), 3 – 8 pp.
- Hinsinger, P. (2006). *Encyclopedia of Soil Science* (Rattan Lal., Vols. 1-2, Vol. 2). United State: Taylor and Francis.
- Hofstede, R. (1997). La importancia hídrica del páramo y aspectos de su manejo. Retrieved from www.condesan.org/foros/cdpp/cdpp31.htm - 17k.
- Hofstede, R. G. M. (1995). *Effects of burning and grazing on a Colombian páramo ecosystem*. Universiteit van Amsterdam.



- Hofstede, R., Groenendijk, J. P., Coppus, R., Fehse, J. C., & Sevink, J. (2002). Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian High Andes. *Mountain Research and Development*, 22, 159–167.
- Hofstede, Robert. (1997). La importancia hídrica del páramo y aspectos de su manejo (p. 5). Presented at the “Estrategias para la Conservación y Desarrollo Sostenible de Páramos y Punas en la Ecorregión Andina: Experiencias y Perspectivas.”
- Hofstede, Robert, & Mena, P. (2000). II Conferencia electrónica sobre usos sostenibles y conservación del ecosistema Paramo en los Andes. (p. 215). Presented at the Los beneficios escondidos del páramo: Servicios ecológicos e impacto humano., Lima-Perú.
- Jhonson, & Maynard, J. (2006). Allophanes. In *Encyclopedia of soil sciences*. Cambridge University.
- Jokisch, B., & Lair, B. (2002). One last stand ? Forest and change on Ecuador`s eastern cordillera. *The Geographical Review*, 92(2), 235–256.
- Josse, C., Navarro, G., Encarnación, F., Tovar, A., Comer, P., Ferreira, W., ... Reátegui, F. (2007). *Sistemas Ecológicos de la Cuenca Amazónica de Perú y Bolivia. Claisificación y mapeo*. (p. 94). Arlington, Virginia.: NatureServe.



- Llambí, L., Soto, A., Céleri, R., De Bievre, B., Ochoa, B., & Borja, P. (2012). *Ecología, hidrología y suelos de páramos. Proyecto Páramo Andino*. Proyecto Páramo Andino.
- Mann, H., & Whitney, D. (1947). On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other, 50 – 60.
- Mils, G. H. (2007). Impacto de la quema controlada sobre los principales parámetros químicos del suelo. Retrieved from http://www.marcaliquida.com.ar/ml159/ml%20159_72.pdf
- Minga, N. (2003). Experience to Protection and Management of Native Andean Forests in the South of Ecuador., 157 – 164.
- Ministerio de Agricultura y Silvicultura del Gobierno Japonés. (1964). Volcanic ash soils in Japan. Sakura-Kosaido Printing Co. Ltd.
- Monasterio, M. (1980). *Estudios ecologicos en los páramos Andinos* (Universidad de los Andes.). Mérida, Venezuela.
- Nanzyo, M., Shoji, S., & Dahlgren, R. (1993). Volcanic Ash Soils: genesis, properties and utilisation. *Developments in soil science*, 21(Elsevier), 288.
- Ochoa de la Torre, J. M. (1999). *La vegetación como instrumento para el control climático*. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña., Barcelona, España.
- Oosterbaan, R. J., & Njiland, H. J. (1994). Determining the saturated hydraulic conductivity., 435 – 476.



- Plasentis, I. (1994). Curso sobre efectos de la labranza en las propiedades físicas de los suelos. *Instituto de Suelos. C.I.R.N. INTA Castelar., Capítulo II*(Labranzas y Propiedades Físicas de los Suelos.).
- Podwojewski, P., & Poulénard, J. (2004a). Paramos Soils. In *Encyclopedia of Soil Science*. Dekker.
- Podwojewski, P., & Poulénard, J. (2004b). Paramos Soils. In *Encyclopedia of Soil Science*. Dekker.
- Porta, J., López Acevedo, M., & Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. (Mundi Prensa.). Madrid, España.
- Poulénard, J., Podwojewski, P., Bartoli, F., & Michel, J. C. (2005). "Water repellency of high altitud soils in the Ecuadorian Páramo: measurements, origin and consequences on soil erosion"., 7,08571. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2389.2004.00625.x/full>
- Prescott, C. ., Taylor, B. R., Parsons, W. F., Durall, D. M., & Pakirson, D. (1993). Nutrient release from descomposition litter in rocky mountain coniferous forest., *Vol. 23 No. 8*, P. 1576–1586.
- Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., & Célleri, R. (2012). Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo:



- Páramo de Quimsacocha al Sur del Ecuador. *Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo*, 2(42), 138–153.
- Rengel, Z. (2006). Calcium. In *Encyclopedia of Soil Science* (2nd ed., Vols. 1-2, Vol. 1, p. 1923). United State: Taylor and Francis.
- Rhoades, C., Eckert, G., & Coleman, D. (1998). Effect of Pasture Trees on Soil Nitrogen and Organic Matter: Implications for Tropical Montane Forest Restoration. *Restoration Ecology*, 6(3), 262–270.
- Robarge, & Wayne. (2008). Acidity. In *Encyclopedia of Soil Science*. Springer. Dordrecht, The Netherlands.
- Romheld, V., & Miroslav, N. (2007). Iron. In *Handbook of plant nutrition*. New York, EEUU.: Taylor y Francis Group.
- Römheld, V., & Nikolic, M. (2007). Handbook of Plant Nutrition. *Taylor & Francis Group*, 329–350.
- Sadeghian, S., Rivera, J. M., & Gómez, M. E. (2009). Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. *Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica*.
- Salgado, S., Betancourt, F., & Cuesta, F. (2007a). Caracterización de la cobertura vegetal y uso del suelo en la cuenca alta del río Mzar, Provincia Cañar-Ecuador. *Unidad de Ecología Espacial Laboratorio de SIG y SR EcoCiencia*.



- Salgado, S., Betancourt, F., & Cuesta, F. (2007b). Caracterización de la cobertura vegetal y uso del suelo en la cuenca alta del río Mazar, Provincia Cañar – Ecuador., 1 –44.
- Sánchez, J. R., Mangas, V. L., Ortiz, C., & Bellot, J. (1994). Forest fire effect on soil chemical properties and runoff. En: Soil erosion as a consequence of forest fires. *Geoderma*, 53 – 65.
- Schlatter, J., & Otero, L. (1995). Efecto de *Pinus radiata* sobre las características químico- nutritivas del suelo mineral superficial, 16, 29 – 46.
- Shaxson, F., & Barber, R. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo. *Boletín de suelos de la FAO N° 79. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.*
- Shulte, E., & Kelling, K. (1999). Soil and Applied Manganese. Understanding Plant Nutrients.
- Silver, W., Lugo, A., & Keller, M. (1999). Soil oxygen availability and biogeochemistry along rainfall and topographic gradients in upland wet tropical forest soils, 44, 301–328.
- Stormont, J. . (1995). The effect of constant anisotropy on capillary barrier performance, 31(Water Resources), 783.
- Úbeda, X. (2001). Influencia de la intensidad de quemado sobre algunas propiedades del suelo después de un incendio forestal., 41 – 49 pp.



- Urquijo, J. (2004). *Seguridad Alimentaria y Desarrollo Sostenible en Zonas Marginales de Guatemala*. Universidad Politecnica de Madrid, Madrid-España.
- Urrego, B. (1997). La Reforestación con Coníferas y sus Efectos sobre la Acidificación, Podsolización y Perdida de Fertilidad de los Suelos. *INPOFOS*, 28: 6 – 12.
- Waide, R., & Lugo, A. (1992). A Research Perspective on Disturbance and Recovery of a Tropical Montane Forest. *Tropical Forest in Transition*, 173–190.
- Wilcke, W., Yasin, S., Abramowski, U., Valarezo, C., & Zech, W. (2002). Nutrient storage and turnover in organic layers under tropical montane rain forest in Ecuador. *European Journal of Soil Science*, 53, 15–27.